

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**



# **Eficiência Energética num Edifício Escolar: Análise de um Caso de Estudo**

**João Antunes 200803810**

**PARA APRECIÇÃO POR JÚRI**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Doutor António Machado e Moura

Co-orientador: Eng. Fernando Ramos

10 de Fevereiro de 2017



# Resumo

A industrialização de países considerados há uns anos como subdesenvolvidos e com forte componente demográfica veio provocar fortes aumentos nas necessidades energéticas mundiais, num planeta já de si fragilizado pelo forte consumo de combustíveis fósseis.

Nos países desenvolvidos existe um elevado consumo de energia per capita devido ao elevado acesso a diferentes tipos de serviços. Nos países emergentes a tendência do seu consumo energético per capita, que atualmente é muito inferior, tem sido de ascensão o que reflete o nível de acesso aos serviços que providenciam conforto às pessoas.

O desafio passa por assegurar o acesso desses serviços a toda a gente sem que as necessidades energéticas aumentem com a mesma expressividade. A eficiência energética é assim desta forma uma ferramenta de importância vital, já que permite que com o mesmo consumo energético se consiga fazer mais e melhor.

Esta dissertação permite perceber as medidas de eficiência energética que podem ser implementadas num edifício escolar, permitindo uma redução do consumo energético e integrando uma melhor política energética.

Trata-se um caso de estudo, na Escola Secundária da Maia que sofreu remodelações há poucos anos, e irá incidir na análise da faturação energética, da iluminação e da qualidade de energia procurando sempre soluções viáveis que permitam uma maior eficiência energética. O investimento é avaliado tendo em conta a poupança anual que provoca analisando também o tempo de amortização. É elaborado também um projeto para a implementação de um sistema solar fotovoltaico, avaliando-se qual o retorno financeiro para a escola.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Iluminação, Qualidade de Energia Elétrica, Solar Fotovoltaico





# Abstract

The industrialization of countries considered a few years ago as underdeveloped and with a strong demographic component has led to strong increases in the world's energy needs, in a planet already debilitated by the heavy consumption of fossil fuels.

In developed countries there is a high energy consumption per capita due to the high access to different types of services. In emerging countries the trend of their energy consumption per capita, which is currently much lower, has been rising, reflecting the increasing level of access to services that provide comfort to people.

The challenge is to ensure access to these services for all people without the energy needs increasing with the same expressiveness. Energy efficiency is thus in this way a tool of vital importance, since it allows that with the same energy consumption can do more and better.

This dissertation allows us to understand the energy efficiency measures that can be implemented in a school building, allowing a reduction of energy consumption and integrating a better energy policy.

This is a case study at Maia Secondary School that has undergone remodeling a few years ago, and will focus on the analysis of energy billing, lighting and energy quality, always looking for viable solutions that allow greater energy efficiency. The investment is evaluated taking into account the annual savings that it causes by also analysing the amortization time. A project for the implementation of a solar photovoltaic system is also prepared, evaluating the financial return to the school.

Keywords: Energy Efficiency, Lighting, Power Quality, Photovoltaic Solar.



# Agradecimentos

À minha família, em particular aos meus pais, por todo o apoio e pelas condições que me permitiram chegar aqui.

À Inês Guimarães pelo apoio incondicional e por todo o carinho e dedicação.

Ao meu orientador Professor Doutor António Machado e Moura, pela confiança depositada em mim e por ser uma figura constante em todo o meu percurso académico, sendo um exemplo a seguir.

À Manvia e seus colaboradores, pelos 5 meses passados a realizar este projeto e por toda a ajuda disponibilizada.

Ao meu co-orientador, Engenheiro Fernando Ramos, pela oportunidade de realização desta dissertação em ambiente empresarial e por toda a disponibilidade e simpatia.

Ao Engenheiro Nuno Pereira, pelo apoio e cooperação dado, disponibilizando-se sempre que possível.

Ao Engenheiro Tiago Fernandes, por todo o apoio e ajuda durante a realização desta dissertação.

A todos os meus colegas e amigos da faculdade, pelos grandes momentos da vida académica e pelos projetos desenvolvidos em conjunto.

Aos meus amigos de infância, por ainda nos mantermos em contacto constante e pelos momentos de descontração.

A todos os meus amigos e colegas do karaté e aos meus alunos.

João Pedro Gordilho Antunes



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivo . . . . .	3
1.2	Estrutura da Dissertação . . . . .	3
1.3	Software Utilizado . . . . .	4
1.4	Parque Escolar . . . . .	4
1.5	Manvia . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Evolução energética</b>	<b>7</b>
2.1	No Mundo . . . . .	7
2.2	Em Portugal . . . . .	8
2.3	Eficiência Energética . . . . .	10
2.3.1	Rebound Effect . . . . .	12
2.4	Eficiência Energética em Edifícios . . . . .	12
2.4.1	Manutenção de Edifícios . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Iluminação</b>	<b>15</b>
3.1	Parâmetros da Iluminação . . . . .	15
3.1.1	Fluxo Luminoso . . . . .	15
3.1.2	Intensidade Luminosa . . . . .	15
3.1.3	Iluminância . . . . .	16
3.1.4	Luminância . . . . .	17
3.2	Lâmpadas . . . . .	18
3.2.1	Lâmpadas de Incandescência . . . . .	19
3.2.2	Lâmpadas de descarga . . . . .	20
3.2.3	Comparação das características dos diferentes tipos de lâmpadas . . . . .	25
3.3	Balastros . . . . .	28
3.3.1	Balastros eletromagnéticos . . . . .	28
3.3.2	Balastros eletrónicos . . . . .	28
3.4	Luminárias . . . . .	29
3.5	Gestão da iluminação . . . . .	29
3.5.1	Zonagem . . . . .	30
3.5.2	Gestão horária . . . . .	30
3.5.3	Deteção de presença . . . . .	30
3.5.4	Gestão em função da quantidade de luz natural . . . . .	30
3.5.5	Gestão centralizada da iluminação . . . . .	31

<b>4</b>	<b>AVAC</b>	<b>33</b>
4.1	Chiller . . . . .	34
4.2	Caldeira . . . . .	34
4.3	Unidade de tratamento de ar . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Qualidade de Energia</b>	<b>37</b>
5.1	Desequilíbrios na tensão ou corrente em sistemas trifásico . . . . .	37
5.2	Fator de potência . . . . .	37
5.3	Poluição Harmónica . . . . .	39
5.3.1	Valor máximo de distorção harmónica de corrente ( $THD_i$ ) e valor máximo de cada harmónico de corrente . . . . .	40
5.3.2	Filtros de compensação . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Aproveitamento da Energia Solar</b>	<b>43</b>
6.1	Sistemas Solares Térmicos . . . . .	44
6.1.1	Termossifão . . . . .	44
6.1.2	Circulação forçada . . . . .	45
6.2	Sistemas solares fotovoltaicos . . . . .	45
<b>7</b>	<b>Regimes de produção distribuída</b>	<b>47</b>
7.1	UPAC . . . . .	48
7.1.1	Remuneração . . . . .	49
7.1.2	Compensação . . . . .	49
7.2	UPP . . . . .	50
7.2.1	Remuneração . . . . .	50
7.3	Taxas . . . . .	51
7.4	Fiscalização . . . . .	51
<b>8</b>	<b>Caso de Estudo</b>	<b>53</b>
8.1	Identificação e Caracterização do Edifício . . . . .	53
8.2	Fatura Energética . . . . .	61
8.3	Iluminação . . . . .	64
8.3.1	Instalação Sanitária Feminina - a011 (Bloco A, piso 0) . . . . .	66
8.3.2	Circulação - b -102 (Bloco B, piso -1) . . . . .	68
8.3.3	Sala de aula . . . . .	70
8.3.4	Arrumos - C -103 (Bloco C, piso -1) . . . . .	71
8.3.5	Circulação - d003 (Bloco B, piso 0) . . . . .	74
8.3.6	Investimento total . . . . .	74
8.4	Qualidade de Energia . . . . .	75
8.4.1	Equilíbrio da tensão e corrente . . . . .	77
8.4.2	Fator de potência . . . . .	78
8.4.3	Poluição harmónica . . . . .	81
8.5	AVAC . . . . .	84
8.5.1	Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN) . . . . .	84
8.5.2	RoofTops (RT) . . . . .	86
8.5.3	Caldeiras . . . . .	86
8.5.4	Chiller . . . . .	87
8.5.5	VRV . . . . .	87
8.6	Sistema Solar Fotovoltaico . . . . .	87

8.6.1	Localização . . . . .	87
8.6.2	Módulo Fotovoltaico . . . . .	88
8.6.3	Sombreamento . . . . .	88
8.6.4	Cálculo do número máximo e mínimo de painéis por string . . . . .	91
8.6.5	Potência do sistema fotovoltaico . . . . .	92
8.6.6	Inversor . . . . .	93
8.6.7	Configuração do sistema fotovoltaico . . . . .	93
8.6.8	Dimensionamento das cablagens e proteções . . . . .	95
8.6.9	Quadros DC e AC . . . . .	102
8.6.10	Proteção contra descargas atmosféricas . . . . .	104
8.6.11	Orçamento e Rentabilidade . . . . .	104
8.6.12	UPAC vs UPP . . . . .	108
<b>9</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>109</b>
9.1	QEE . . . . .	109
9.2	Faturação Energética . . . . .	110
9.3	Iluminação . . . . .	110
9.4	Projeto Fotovoltaico . . . . .	110
9.5	Trabalho futuro . . . . .	110
<b>A</b>	<b>Iluminação</b>	<b>113</b>
A.1	Certificado de Calibração: Luxímetro . . . . .	113
A.2	Cálculos de Iluminação . . . . .	116
<b>B</b>	<b>Analisador de Redes: Certificado de Calibração</b>	<b>117</b>
<b>C</b>	<b>Projeto Fotovoltaico</b>	<b>127</b>
C.1	Folha de características do módulo fotovoltaico . . . . .	127
C.2	Folha de características do inversor . . . . .	129
C.3	Disposição do Sistema . . . . .	132
C.3.1	Equipotencialização das massas . . . . .	132
C.4	Orçamento . . . . .	133
<b>D</b>	<b>Tarifas</b>	<b>135</b>
D.1	Cálculos das tarifas . . . . .	135
	<b>Referências</b>	<b>137</b>





# Lista de Figuras

1.1	Consumo Energético Mundial entre 1971 e 2014. . . . .	1
1.2	Consumo Energético nos países da OCDE entre 1971 e 2015. . . . .	2
1.3	Consumo total final e Consumo total final per capita. . . . .	2
2.1	Previsão do consumo de energia. . . . .	7
2.2	Dependência Energética em Portugal. Adaptado de DGEG . . . . .	8
2.3	Intensidade Energética em Portugal. Adaptado de DGEG . . . . .	9
2.4	Emissão de Gases com Efeito de Estufa em Portugal. Adaptado de DGEG . . . . .	9
2.5	Poupança anual e grau de cumprimento em Portugal. Adaptado de DGEG . . . . .	10
2.6	Múltiplos benefícios da eficiência energética. . . . .	11
2.7	Consumo energético dos edifícios em 2012. . . . .	13
3.1	Fluxo Luminoso . . . . .	16
3.2	Intensidade Luminosa . . . . .	16
3.3	Iluminância . . . . .	17
3.4	Luminância . . . . .	17
3.5	Lâmpada incandescente de filamento . . . . .	19
3.6	Lâmpada incandescente de halogéneo . . . . .	20
3.7	Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão . . . . .	21
3.8	Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão . . . . .	21
3.9	Lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos . . . . .	22
3.10	Lâmpada fluorescente tubular . . . . .	22
3.11	Lâmpada fluorescente compacta . . . . .	23
3.12	Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão . . . . .	23
3.13	Lâmpada mista . . . . .	24
3.14	Lâmpada de indução . . . . .	24
3.15	Lâmpadas LED . . . . .	25
3.16	Comparação entre o rendimento dos diferentes tipos de lâmpadas . . . . .	26
3.17	Exemplo de gestão centralizada da iluminação . . . . .	31
4.1	Caracterização de um sistema AVAC. . . . .	33
5.1	Triângulo de potências . . . . .	38
6.1	Radiação Solar em Portugal . . . . .	43
6.2	Sistema solar térmico de termossifão . . . . .	44
6.3	Sistema solar térmico de circulação forçada . . . . .	45
6.4	Composição de um painel fotovoltaico. . . . .	46

8.1	Consumo de energia ativa da escola. . . . .	62
8.2	Tarifas da EDP Universal. . . . .	62
8.3	Tarifas da Fenosa, Iberdrola e Endesa. . . . .	63
8.4	Tarifas atual. . . . .	63
8.5	Simulação com lâmpadas de potência 49 W. . . . .	66
8.6	Simulação com lâmpadas de potência 35 W. . . . .	67
8.7	Simulação do circuito 1. . . . .	68
8.8	Simulação do circuito 2. . . . .	69
8.9	Simulação com ambos os circuito ativos. . . . .	69
8.10	Simulação com ambos os circuitos e com lâmpadas de 49 W. . . . .	70
8.11	Simulação com ambos os circuitos e com lâmpadas de 35 W. . . . .	71
8.12	Simulação com lâmpadas de 49 W. . . . .	72
8.13	Simulação com lâmpadas de 35 W. . . . .	73
8.14	Simulação com o circuito 1 ativo. . . . .	74
8.15	Simulação com o circuito 2 ativo. . . . .	74
8.16	Esquema de ligação. . . . .	76
8.17	Ligação do analisador ao QGBT. . . . .	76
8.18	Tensão nas três fases. . . . .	77
8.19	Corrente nas três fases. . . . .	77
8.20	Corrente no neutro. . . . .	78
8.21	Fator de potência num dia útil. . . . .	78
8.22	Bateria de Condensadores. . . . .	79
8.23	Fator de potência no feriado. . . . .	80
8.24	$\tan \varphi$ durante o dia útil. . . . .	80
8.25	$\tan \varphi$ durante o feriado. . . . .	81
8.26	THD no QGBT. . . . .	82
8.27	Harmónicos de corrente na fase 1. . . . .	82
8.28	Harmónicos de corrente na fase 2. . . . .	83
8.29	Harmónicos de corrente na fase 3. . . . .	83
8.30	UTAN localizada no bloco B. . . . .	85
8.31	Configuração Double-Deck - 100% ar exterior. . . . .	85
8.32	Rooftop situado na cobertura do bloco B. . . . .	86
8.33	Exposição solar durante o mês de Agosto. . . . .	88
8.34	Triângulo rectângulo. . . . .	89
8.35	Radiação solar na Escola Secundária da Maia. . . . .	91
8.36	Disposição dos painéis e configuração das strings.. . . .	94
8.37	Razão da potência nominal dos inversores. . . . .	95
8.38	Dimensionamento dos cabos DC. . . . .	96
8.39	Fusível de fileira da marca Hager. . . . .	97
8.40	Corta circuitos porta fusíveis da marca Hager. . . . .	98
8.41	Interruptor DC da marca Hager. . . . .	99
8.42	Dimensionamento dos cabos AC dos inversores para o QAC. . . . .	100
8.43	Dimensionamento dos cabos AC do QAC para o QGBT. . . . .	101
8.44	Interruptor Tetrapolar da marca Hager. . . . .	102
8.45	Quadros DC. . . . .	103
8.46	Quadros AC. . . . .	103
8.47	Diagrama de equipotencialização das massas e ligação à terra. . . . .	104
8.48	Orçamento. . . . .	105

8.49	Distribuição de energia fotovoltaico. . . . .	106
8.50	Comparação dos custos de energia. . . . .	106
8.51	Poupança efetiva obtida com sistema fotovoltaico em regime UPAC. . . . .	107
8.52	Poupança efetiva obtida no regime UPP. . . . .	108



# Lista de Tabelas

3.1	Temperatura da cor . . . . .	18
3.2	Índice de Restituição Cromática . . . . .	18
3.3	Comparação entre os diferentes tipos de lâmpadas . . . . .	27
5.1	Faturação da energia reativa. . . . .	39
5.2	Classificação das harmónicas . . . . .	39
5.3	Corrente harmónica máxima em % da corrente fundamental . . . . .	40
7.1	Comparação entre os dois regimes de produção distribuída . . . . .	48
7.2	Valor associado à recuperação dos CIEG em 2016. . . . .	49
7.3	Valores do coeficiente de ponderação $k_f$ . Fonte: DL 153/2014 . . . . .	50
7.4	Tarifa de referência por energia primária utilizada. . . . .	50
8.1	Caracterização do Bloco A, piso 1 . . . . .	53
8.2	Caracterização do Bloco A, piso 0 . . . . .	54
8.3	Caracterização do bloco B, piso 0 . . . . .	55
8.4	Caracterização do bloco B, piso -1 . . . . .	56
8.5	Caracterização do bloco C, piso 1 . . . . .	56
8.6	Caracterização do bloco C, piso 0 . . . . .	57
8.7	Caracterização do bloco C, piso -1 . . . . .	57
8.8	Caracterização do bloco D, piso 1 . . . . .	57
8.9	Caracterização do bloco D, piso 0 . . . . .	58
8.10	Caracterização do bloco D, piso -1 . . . . .	58
8.11	Caracterização do bloco E, piso -1 . . . . .	58
8.12	Caracterização do bloco E, piso -2 . . . . .	59
8.13	Caracterização do bloco F, piso -1 . . . . .	59
8.14	Caracterização do bloco G, piso -1 . . . . .	60
8.15	Caracterização do bloco H, piso 0 . . . . .	60
8.16	Caracterização do bloco I, piso -3 . . . . .	61
8.17	Caracterização do bloco J, piso 0 . . . . .	61
8.18	Valores recomendados de iluminância. . . . .	65
8.19	Cálculo financeiro - a011 . . . . .	67
8.20	Cálculo financeiro - Salas de Aula . . . . .	71
8.21	Cálculo financeiro - c-103 . . . . .	73
8.22	Cálculo financeiro para as propostas de iluminação . . . . .	75
8.23	Número de módulos vs inclinação . . . . .	90
8.24	Produção estimada de eletricidade num ano. . . . .	91
8.25	Características do módulo. . . . .	91
8.26	Potências de pico . . . . .	93

8.27	Comparação dos dois regimes, UPAC e UPP . . . . .	108
9.1	Quadro Resumo da Iluminação . . . . .	110
9.2	Quadro resumo do projeto fotovoltaico . . . . .	110

# Abreviaturas e Símbolos

OCDE	Organização para o Comércio e Desenvolvimento Económico
AIE	Agência Internacional de Energia
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
GEE	Gases com Efeito de Estufa
PIB	Produto Interno Bruto
UPP	Unidade de Pequena Produção
UPAC	Unidade de Produção em Autoconsumo
IRC	Índice de Restituição Cromática
LED	Light Emitting Diode
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
THD	Total Harmonic Distortion
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
AQS	Água Quente Sanitária
CUR	Comercializador de Último Recurso
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
SERUP	Sistema Eletrónico de Registo da UPAC e da UPP
CIEG	Custo de política energética, de sustentabilidade e de interesse económico geral
SEN	Sistema Elétrica Nacional
BT	Baixa Tensão
MT	Média Tensão





# Capítulo 1

## Introdução

Nas últimas décadas, tem-se assistido a um aumento no consumo de energia primária a nível mundial que, como se pode observar pela figura 1.1, tem sido suportado em grande parte pelo aumento de produção combustíveis fósseis. [1]

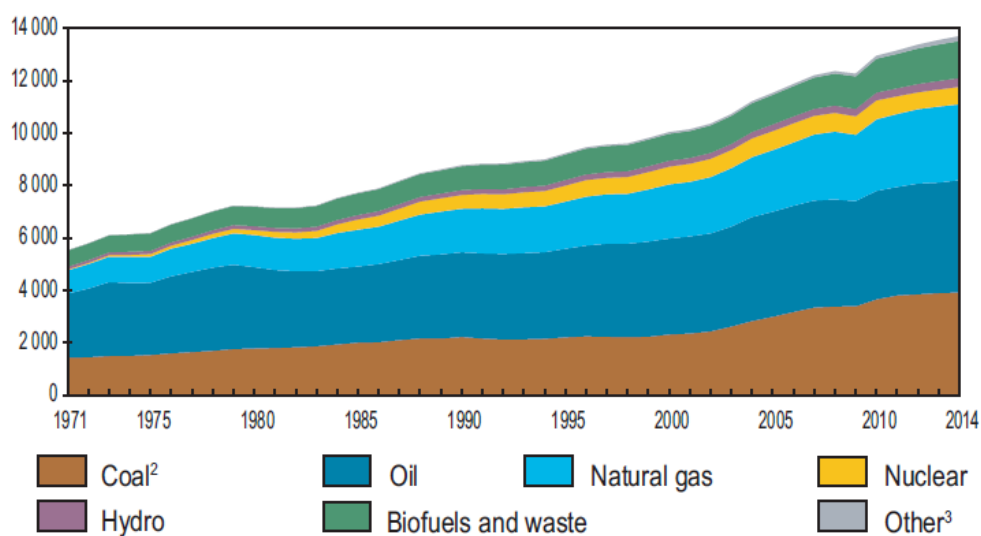


Figura 1.1: Consumo Energético Mundial entre 1971 e 2014.

A imagem seguinte, imagem 1.2, que representa o consumo de energia primária nos países pertencentes à Organização para o Comércio e Desenvolvimento Económico (OCDE), permite observar um aumento até meados do ano de 2008 em que se constata uma quebra seguida de uma redução gradual do consumo energético. [1]

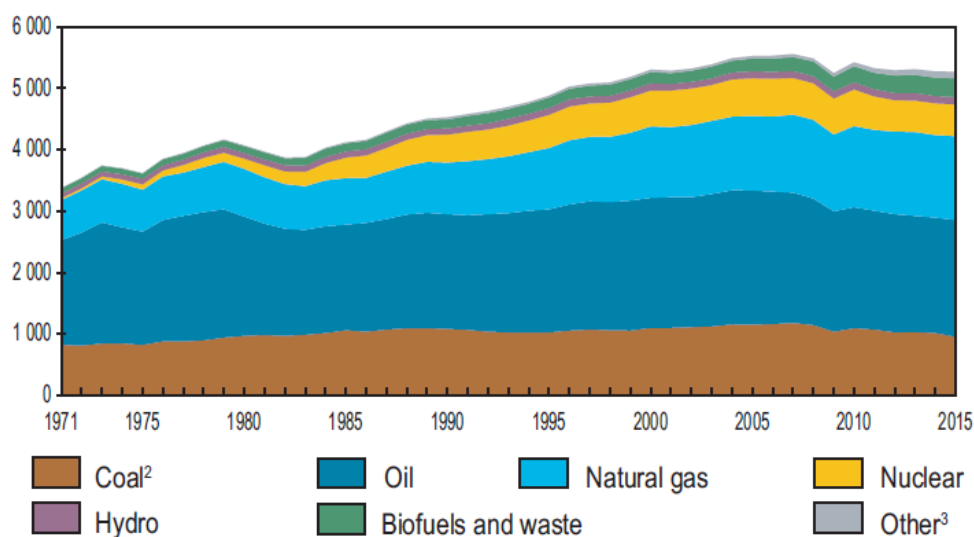


Figura 1.2: Consumo Energético nos países da OCDE entre 1971 e 2015.

Comparando as duas imagens, verifica-se que o aumento observado na imagem 1.1 se deve a países emergentes, que não pertencem à OCDE, como por exemplo a China e outros países asiáticos. Nos países da OCDE observa-se uma descida gradual que tem início antes da recessão de 2008/2009 que contracena com o aumento de consumo por parte dos restantes países e que, apesar do seu consumo per capita se situar muito abaixo, o consumo absoluto é superior, imagem 1.3. Antecipando o aumento da procura por parte destes países, a eficiência energética pode aqui assumir um papel de grande importância, permitindo um crescimento mais sustentável e limitando o consumo per capita, mesmo que isto signifique um aumento absoluto no consumo final. [2] [1]

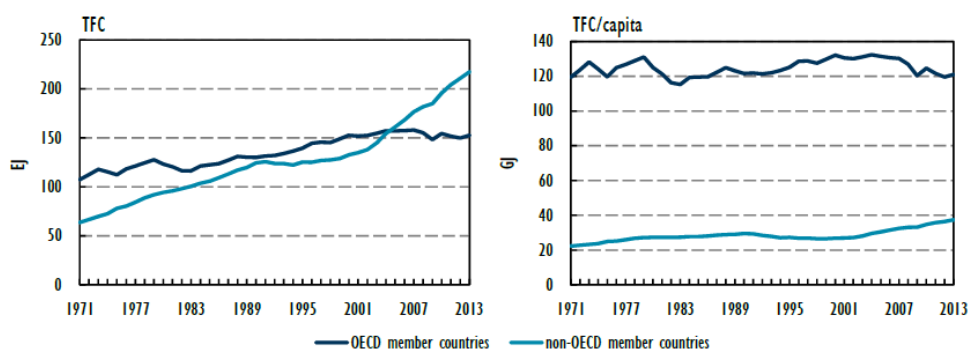


Figura 1.3: Consumo total final e Consumo total final per capita.

A nível Europeu, está estabelecida uma redução de 20% no consumo de energia primária até 2020, através da promoção da eficiência energética [Diretiva 2012/27/EU] e, em Portugal, com o objetivo de alcançar as metas Europeias “20-20-20”, 20% de redução das emissões de gases com efeito de estufa, 20% de quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto e 20% de redução do consumo de energia primária relativamente à projeção do consumo para

2020, foram definidos como objetivos a redução no consumo de energia primária de 25% e uma redução de 30% na Administração Pública, 31% do consumo final bruto de energia ser originário de fontes renováveis, assim como 10% da energia utilizada nos transportes. [RCM 20/2013] Existe portanto, a necessidade de implementar cada vez mais, investimentos e procedimentos que promovam a eficiência energética, reduzindo os consumos energéticos finais mantendo os altos níveis de acesso a serviços de energia. [2]

## 1.1 Objetivo

O objetivo desta dissertação é avaliar as medidas de eficiência energética de uma escola da Parque Escolar, Escola Secundária da Maia, promovendo a melhoria das mesmas apresentando propostas que visem baixar o consumo, mantendo ou melhorando as condições do respetivo serviço prestado.

Juntamente com estas propostas, é apresentado um estudo da respetiva viabilidade através do seu retorno de investimento e da relação custo/poupança anual, comparando o custo da medida a implementar com o benefício provocado pela mesma.

Esta avaliação irá incidir principalmente nos seguintes pontos:

- Estudo da faturação de eletricidade do último ano, estudando e comparando propostas de diferentes fornecedores de eletricidade determinando qual o melhor para o consumo que a escola efetua;
- Elaborar um estudo luminotécnico com a instalação atual da escola, verificando se os valores estão em concordância com o recomendado nas diferentes tipologias de espaços e comparar com valores adquiridos no local recorrendo a um luxímetro.
- Caracterizar outros equipamentos que representam consumo energéticos relevantes, nomeadamente equipamentos AVAC, e avaliar o seu desempenho;
- Analisar a qualidade de energia através da presença de poluição harmónica e do fator de potência;
- Dimensionar um sistema de painéis fotovoltaicos e estudar a sua viabilidade quer como Unidade de Produção em Autoconsumo (UPAC), quer como uma Unidade de Pequena Produção (UPP).

## 1.2 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é composta por um total de nove capítulos distintos, estruturados da seguinte forma:

- No capítulo 2 é abordada a evolução energética mundial e em Portugal, enquadrando-se a edificação energética e a manutenção.

- No terceiro capítulo são abordados os sistemas atuais de iluminação.
- No quarto capítulo são introduzidos os equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.
- O capítulo 5 faz uma abordagem à qualidade de energia, introduzindo os temas sobre desequilíbrios na tensão ou corrente, fator de potência e poluição harmónica.
- No capítulo 6 são abordados os sistemas de aproveitamento solar, térmico e fotovoltaico.
- No capítulo 7 são apresentados os atuais regimes de produção distribuída, comparando-se as UPAC e UPP.
- O oitavo capítulo é dedicado ao caso de estudo onde é caracterizada a instalação em causa e são analisados e discutidos os resultados obtidos, apresentando propostas de alteração.
- Por último, no capítulo 9, são apresentadas as conclusões sobre o trabalho realizado e feitas sugestões para perspetivas de trabalho futuro.

### 1.3 Software Utilizado

A elaboração desta dissertação recorreu a diferentes tipos de software, permitindo uma mais rápida e intuitiva análise aos diferentes temas abordados. As principais ferramentas utilizadas são as seguintes:

- Excel - software de cálculo.
- AutoCAD - software de desenho.
- DIALux - Software de desenho e cálculo luminotécnico.
- TopView - Software do analisador de redes.
- SunnyDesign - Software para cálculo fotovoltaico.
- HagerCad - Software para dimensionamento de quadros elétricos.

### 1.4 Parque Escolar

A Parque Escolar, E.P.E., é uma empresa pública criada em 2007 pelo Decreto-Lei nº41/2007 de 21 de Fevereiro e que tem como objetivo o planeamento, gestão, desenvolvimento e execução do programa de modernização e manutenção da rede pública de escolas secundárias e outras afetas ao Ministério da Educação. [3]

O Programa de Modernização do Parque Escolar tem como objetivo melhorar as condições de ensino, adaptando-as aos conteúdos programáticos, às didáticas e às novas tecnologias e comunicação através da requalificação e modernização dos edifícios das escolas, promover sinergias

entre a escola e a comunidade tirando partido do potencial instalado na respetiva infraestrutura e otimizar a gestão da conservação e manutenção da mesma com um novo modelo de gestão. [4]

## 1.5 Manvia

A Manvia é uma empresa dedicada à manutenção e exploração de instalações e construções que iniciou atividade em 1998, sendo integrada no Grupo Mota-Engil no ano 2000. A empresa, que atualmente conta com mais de 600 especialistas em diferentes áreas de negócio da manutenção, passou a ser no ano de 2005 uma sociedade anónima dedicada à prestação de serviços de manutenção nos edifícios, ambiente, indústria e energia.

É uma empresa certificada que conta com um vasto portfolio desde a área de edifícios, a começar pela Parque Escolar, diversos centros comerciais, como por exemplo o Parque Nascente e o Mercado Bom Sucesso, na área dos transportes com várias autoestradas (Ascendi, AEA e A16), metro do Porto e Porto de Lisboa, até na área da saúde onde conta com os hospitais de Loures, da Terceira e Fernando Fonseca, entre várias outras áreas.



## Capítulo 2

# Evolução energética

### 2.1 No Mundo

A demografia, juntamente com o rendimento ou produto interno bruto (PIB) per capita, são os fatores determinantes no consumo energético mundial. Numa região em que o PIB per capita seja baixo, um aumento de população irá refletir-se num aumento da procura de energia, mas mais reduzido comparativamente a uma região com um rendimento per capita mais elevado, como por exemplo nos países mais desenvolvidos. [5]

Apesar da diferença de consumo total final entre os países pertencentes e não pertencentes à OCDE, nestes últimos tem-se verificado uma subida destes valores, o que associado a uma estimativa de forte aumento populacional, irá provocar um aumento da procura de energia, em particular nos países asiáticos, como a China e a Índia. É possível observar esta previsão na imagem 2.1. [2]

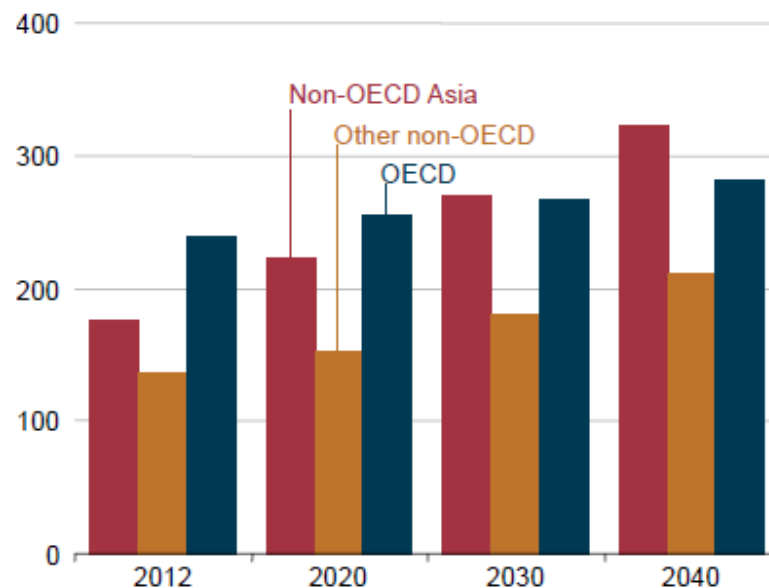


Figura 2.1: Previsão do consumo de energia.

Em 2040, as projeções apontam para um aumento de 71% nestes países, contrastando com os países da OCDE, onde se projeta uma subida de 17%.<sup>[6]</sup>

Observando estes valores, verifica-se a necessidade de tentar limitar o aumento de energia primária, principalmente nos países que não fazem parte da OCDE, através de medidas de eficiência energética garantindo a qualidade de serviço e a sustentabilidade global da energia, que permitam separar o crescimento económico e o aumento do consumo de energia.

Um parâmetro a usar como comparação é a intensidade energética, que relaciona o consumo de energia com o PIB do respetivo país, sendo menor em países com maior eficiência energética e maior em países com menor eficiência energética. Em 2014, houve uma melhoria deste índice nos países da OCDE, tendo o consumo de energia valores tão baixos como em 2000 e o PIB evoluído 26%, o que mostra que estes países conseguiram separar o crescimento económico do consumo energético. <sup>[2]</sup>

## 2.2 Em Portugal

Devido à escassez de recursos fósseis endógenos, nomeadamente petróleo, carvão e gás natural), Portugal tem uma elevada dependência energética do exterior, como se pode verificar na imagem 2.2. Esta dependência tem vindo a diminuir gradualmente desde o ano 2005, havendo algumas exceções devido à variação da produtividade das centrais hídricas. Tais exceções devem-se essencialmente ao aumento da contribuição das energias renováveis.



Figura 2.2: Dependência Energética em Portugal. Adaptado de DGEG

A respeito da intensidade energética, em 2014, Portugal conseguiu melhorar ligeiramente os valores, tendo-se situado em 124tep/M€ '2011 em energia primária, 90 tep/M€ '2011 em energia final e 274 MWh/M€ '2011 em eletricidade como se verifica na imagem 2.3.



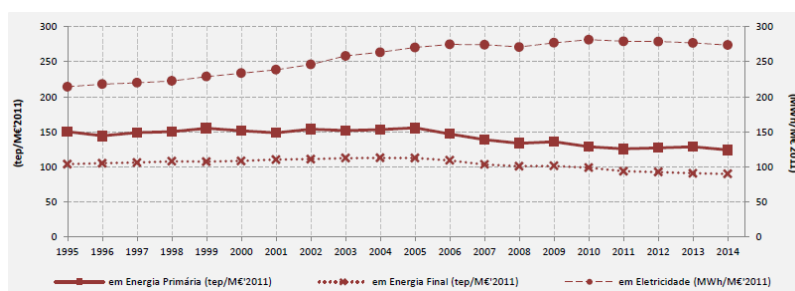


Figura 2.3: Intensidade Energética em Portugal. Adaptado de DGEG

Quanto às emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE), tem-se registado um decréscimo nos últimos anos, situando-se na ordem das 65,3 Mton CO<sub>2</sub> em 2013. Podemos observar esta evolução na imagem 2.4.

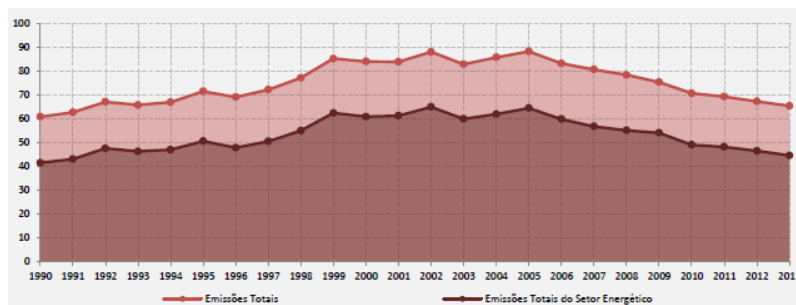


Figura 2.4: Emissão de Gases com Efeito de Estufa em Portugal. Adaptado de DGEG

A União Europeia, através da Diretiva 2006/32/CE relativa à eficiência na utilização final de energia e aos Serviços energéticos, estabeleceu como objetivo geral a obtenção de economias de energia de 9% no nono ano de aplicação da Diretiva, 2016, por comparação com o período 2001-2005, obrigando também à apresentação, por parte dos Estados-membros, de planos de ação de Eficiência Energética.

Em Portugal, esta diretiva foi transposta pelo Decreto-Lei nº 319/2009, de 3 de novembro, e foi aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros (RCM) nº 80/2008 o primeiro Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) para o período de 2008-2015, que estabelecia o objetivo de alcançar, em 2015, uma melhoria da Eficiência Energética equivalente a 9,8% do consumo final de energia. Esta resolução foi, entretanto, revogada pelo RCM nº20/2013, de 10 de abril, que aprovou um novo PNAEE para o período de 2013-2016, que prevê uma economia energética total de 1 501 305 tep, em energia final, no ano de 2016.

A implementação deste plano permitiu atingir, em finais de 2013, uma economia energética de 940 153 tep, em termos acumulados, que corresponde a 63% do previsto e equivalente a 5,1% do objetivo proposto para 2016. Imagem 2.5 na página 10.

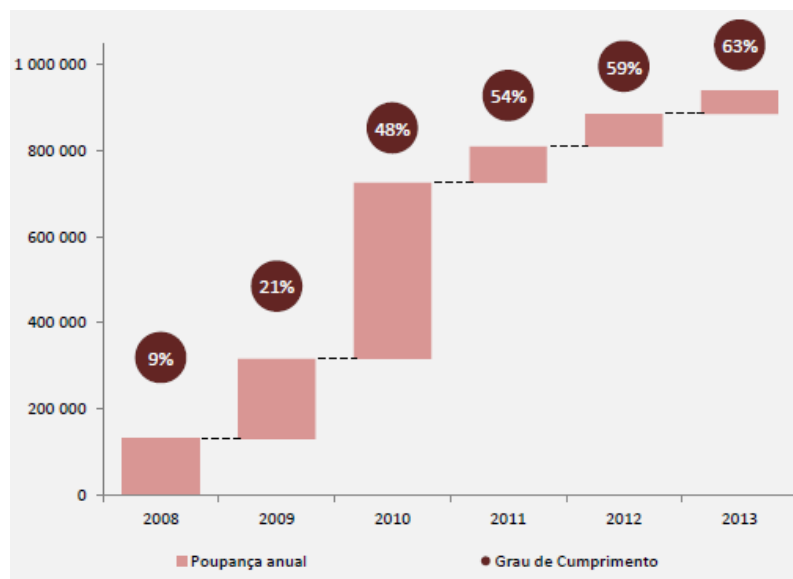


Figura 2.5: Poupança anual e grau de cumprimento em Portugal. Adaptado de DGEG

## 2.3 Eficiência Energética

A União Europeia designou Eficiência Energética como sendo “o rácio entre o resultado em termos de desempenho, serviços, bens ou energia gerados e a energia utilizada para o efeito.” [7]. É então necessário obtermos mais e melhores resultados utilizando a mesma, ou menor, quantidade de energia, direta ou indiretamente e, que permitirá diversos benefícios tanto económicos como sociais, como se pode observar na figura 2.6. [8]

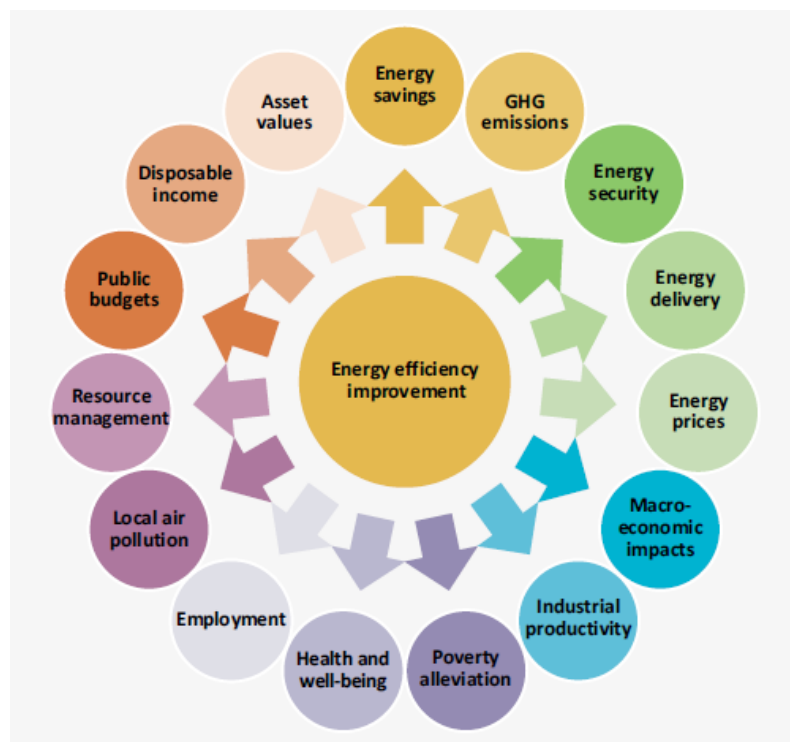


Figura 2.6: Múltiplos benefícios da eficiência energética.

A Agência Internacional de Energia (AIE) estima que, com a melhoria da eficiência energética, sejam promovidos diversos desenvolvimentos tais como:

- Industriais, através da redução de custo de operação e manutenção há um aumento da competitividade, do lucro, da qualidade do produto e de produção e também uma melhoria nas condições de trabalho;
- Distribuição de energia, com a redução da despesa com a geração, transmissão e distribuição de energia e aumento da fiabilidade do sistema elétrico;
- Macroeconómicos, com um aumento do PIB entre 0,25% a 1,1% por ano e a potencial criação de 8 a 27 empregos por cada milhão de euros investidos em eficiência energética, sendo que estes valores variam de país para país, consoante a sua estrutura económica e a escala das suas políticas energéticas.

A aposta na eficiência permitirá também melhorias nos orçamentos de estado, através da redução do consumo energético e/ou aumento rendimento proveniente dos impostos. Um dos impactos importantes no orçamento é a redução da despesa com energia primária, uma rubrica que tem tendência a subir com a decorrer do tempo e a redução com despesas sociais, como o subsídio de desemprego quando as políticas de eficiência energética permitem a criação de postos de trabalho. Os impactos nos orçamentos de estado estão intrinsecamente ligados aos impactos macroeconómicos. [8]

A modernização energética eficiente dos edifícios provoca também um forte impacto na saúde e bem-estar dos seus ocupantes, principalmente grupos de risco como crianças, idosos e doentes crónicos. Os benefícios principais incluem uma redução de sintomas cardiovasculares e respiratórios, reumatismos, artrites e alergias. [8]

É importante, por isso, uma aposta forte em políticas de eficiência energética por parte dos diferentes governos, adaptadas à realidade do respetivo país. Além dos benefícios já referidos, a aposta em políticas que promovam este desenvolvimento permite uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> e a promoção da independência energética dos países, aumentando a segurança energética dos mesmos, que dependem muitas vezes da importação de recursos que, apesar de existirem com alguma abundância, têm a sua produção concentrada num número limitado de economias inflacionando o preço dos mesmos.

### 2.3.1 Rebound Effect

A criação e aplicação deste tipo de políticas que permitam baixar o consumo energético mantendo o mesmo nível de acesso a serviços de energia, tem como principal desafio um fenómeno chamado efeito de rebound, ou boomerang, que consiste no acesso a mais serviços de energia eliminando/atenuando a possibilidade de redução do consumo energético.

Este fenómeno tem impactos diferentes em cada benefício, tendo que ser cuidadosamente calculado. Por exemplo, a aplicação de uma política energética que baixe o preço da eletricidade que provoque um aumento do consumo da mesma para aquecimento, o que torna este efeito negativo. Mas, no caso de, a energia que seria poupada com a redução do consumo provocar um aumento de produtividade, redução da pobreza ou benefícios em saúde, o efeito de rebound é caracterizado como uma consequência positiva.

Políticas que promovam a eficiência energética têm de ser bem planeadas e, por isso, é importante a avaliação de qualquer efeito potencial de rebound, em particular quando o objetivo é a redução de poluição, emissão de gases de efeito de estufa (GEE) ou redução da importação de energia primária. [8]

## 2.4 Eficiência Energética em Edifícios

Na União Europeia e, segundo as conclusões do Conselho de 10 de Junho de 2011<sup>1</sup> relativas ao Plano de Eficiência Energética de 2011, 40% do consumo de energia final é proveniente dos edifícios, pelo que podemos considerar, a par dos transportes, como uma das áreas com maior potencial para a poupança de energia, podendo atingir reduções do consumo entre 5% a 6% e reduções de 5% nas emissões de GEE. Em Portugal, apesar de representarem uma fatia mais pequena, os edifícios são responsáveis por cerca de 25%-30% do consumo da energia final em 201, imagem 2.7. [9]

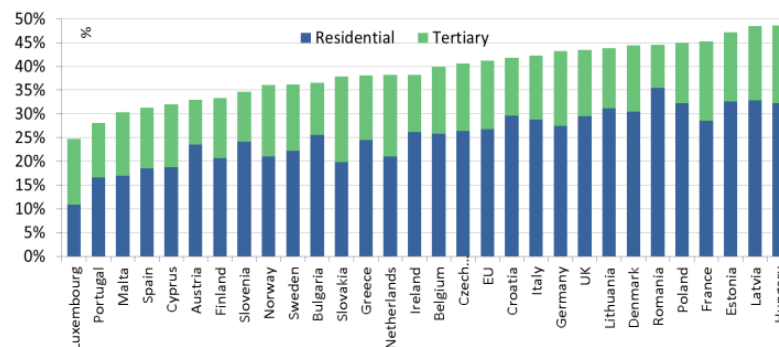


Figura 2.7: Consumo energético dos edifícios em 2012.

Tendo isto em conta e, juntamente com o objetivo de poupar 20% do consumo anual de energia primária até 2020, a Comissão criou o Plano de Eficiência Energética 2011 (PEE). A Diretiva relativa à eficiência energética (2012/27/EU), que entrou em vigor em dezembro de 2012, estabelece requisitos mínimos de modo a promover a eficiência energética na União, podendo os países membros estabelecer requisitos mais rigorosos.

A Diretiva inclui, entre outros, os seguintes requisitos:

- Renovação de, pelo menos, 3% da área construída total dos edifícios pertencentes à administração central, todos os anos a partir de 2014, e a aquisição de edifícios, serviços e produtos com elevado desempenho em termos de eficiência energética.
- Criação de estratégias nacionais a longo prazo para promover o investimento na renovação dos edifícios residenciais e comerciais e a criação de regimes de obrigações nacionais em matéria de eficiência energética ou medidas equivalentes, de modo a assegurar uma poupança de energia anual de 1,5% para os consumidores finais.
- Avaliação, até ao final de 2015, das potencialidades em matéria de aplicação da cogeração de elevada eficiência e de sistemas de aquecimento e arrefecimento urbano eficientes em todos os Estados membros.
- Realização de auditorias obrigatórias e regulares às grandes empresas, no mínimo de quatro em quatro anos, com exceção das empresas com sistemas energéticos e ambientais certificados.
- Implantação de redes e contadores inteligentes e o fornecimento de informações exatas nas faturas energéticas, a fim de reforçar a posição dos consumidores e incentivar um consumo de energia eficaz.

### **2.4.1 Manutenção de Edifícios**

Parte importante na eficiência energética em edifícios é o correto acompanhamento de todos os equipamentos aumentando a sua confiabilidade e fazendo com que este opere sempre próximo das condições em que saiu de fábrica.

Existem diferentes tipos de manutenção:

- Manutenção corretiva: trata-se da manutenção não planeada causada por avarias.
- Manutenção preventiva: traduz-se em ações planeadas e sistemáticas que têm como objetivo o aumento do tempo de vida útil do equipamento e a redução do número de avarias.
- Manutenção preditiva: recorre à análise de dados recolhidos através da monitorização dos equipamentos para a elaboração de ações de manutenção, antecipando eventuais avarias. Esta monitorização pode ser feita através de vibração, análises de óleo, ultrassom e termografia.

## Capítulo 3

# Iluminação

Tanto no local de trabalho como em casa, 80% dos estímulos sensoriais são de natureza ótica pelo que, devemos dar grande importância à iluminação em todo o lado. [10]

Má iluminação no local de trabalho provoca reflexos nos planos de trabalho, o que prejudica o desempenho das tarefas e origina mal-estar físico dando origem a cefaleias e sonolência e interferindo com o sistema nervoso.

Assegurar que os níveis de iluminação são adequados contribui para um melhor desempenho, aumenta a produtividade e contribui para a redução dos riscos, quer para a ocorrência de acidentes de trabalho, quer para a saúde dos colaboradores.

O nível e a qualidade de iluminação necessária dependem de vários fatores onde se inclui a natureza da tarefa, a acuidade visual de cada trabalhador e o ambiente onde a atividade é realizada, devendo ser suficiente de forma a que cada foco luminoso forneça a quantidade de luz necessária a cada tipo de trabalho e uniformemente distribuída de modo a evitar a fadiga ocular, decorrente das sucessivas acomodações em virtude das variações da intensidade da luz.

### 3.1 Parâmetros da Iluminação

É necessário então conhecer os parâmetros que avaliam a iluminação com vista à maximização da sua qualidade em qualquer tipo de local.

#### 3.1.1 Fluxo Luminoso

É a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa à tensão nominal num segundo. Representa-se pela letra F ou pelo símbolo  $\phi$  e expressa-se em lúmens (lm).

Para a sua medição utiliza-se a esfera de Ulbricht.

#### 3.1.2 Intensidade Luminosa

Representado pela letra I, é o fluxo luminoso compreendido na unidade de ângulo sólido no qual é emitido e expressa-se em candelas (cd). Como a fonte luminosa não irradia a luz de forma



Figura 3.1: Fluxo Luminoso

uniforme, é necessário calcular o valor do fluxo luminoso em diferentes direções, representadas por vetor, sendo que o seu comprimento representa a intensidade luminosa.

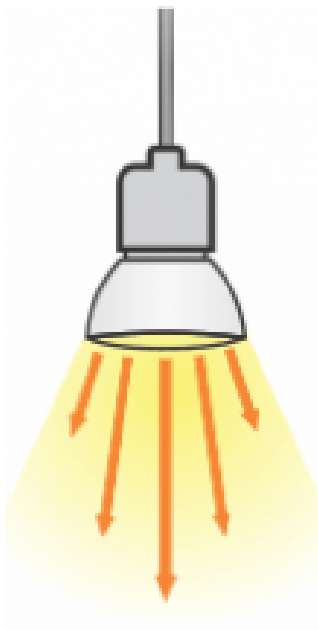


Figura 3.2: Intensidade Luminosa

### 3.1.3 Iluminância

Também chamada iluminação, é designada como o fluxo luminoso recebido por unidade de área iluminada. É expressa em lux (lx) e a unidade representa a iluminância produzida por 1 lm, distribuídos de modo uniforme sobre uma superfície de  $1\text{ m}^2$ , como se pode verificar na imagem 3.3 na página 17.

É a unidade base da luminotecnica, à qual fazem referência todas as recomendações e tabelas relativas ao nível de iluminação.



A sua medição é feita recorrendo a um aparelho chamado luxímetro, que consiste numa célula fotoelétrica, sobre a qual se faz incidir o fluxo luminoso que vai gerar uma pequena corrente elétrica que é depois medida de forma analógica ou digital, calibrado diretamente em lux.

Como a distribuição do fluxo luminoso não é uniforme, fazem-se várias medidas com o luxímetro e obtém-se a iluminância média ( $E_m$ ), sendo este valor comparado com os valores de referência já referidos. [11]

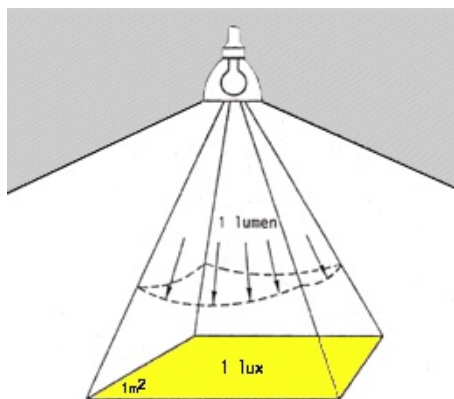


Figura 3.3: Iluminância

### 3.1.4 Luminância

Das grandezas referidas, é a única perceptível pelo ser humano visto que é a luminância dos objetos que nos dá a sensação visual.

É o quociente entre a intensidade luminosa emitida por uma fonte ou por uma superfície refletora e a sua superfície aparente.

A sua unidade SI é a candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) e é representada pela letra L.

A medição da luminância realiza-se recorrendo a um aparelho especial chamado luminâncímetro, que se baseia em dois sistemas óticos: um de direção e outro de medição. [11]

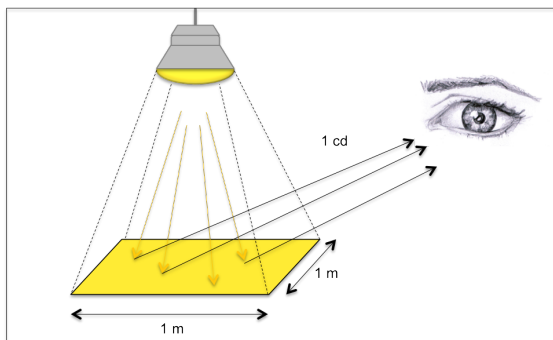


Figura 3.4: Luminância

## 3.2 Lâmpadas

A aplicação das melhores condições de iluminação para a execução de qualquer tipo de atividade, quer seja interior ou exterior, mais ou menos técnica, pode ser executada alcançando a maior eficiência energética possível.

Para isso, vão ser abordados os diferentes tipos de lâmpadas existentes, comparando no final as suas características.

A aplicação do tipo correto de lâmpada permite obter um local com condições de trabalho ótimas a um custo reduzido e que, apesar da necessidade de maior investimento permita o retorno do mesmo em tempo útil.

Antes de se abordar os diferentes tipos existentes, é importante conhecer as suas principais características do ponto de vista luminotécnico: rendimento luminoso, temperatura de cor, índice de restituição de cores e duração de vida média.

- **Rendimento Luminoso** — Resulta do quociente entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência elétrica absorvida pela mesma, exprimindo-se em lúmen/Watt (lm/W).
- **Temperatura de cor** — Vem expressa em graus Kelvin (°K) e indica a cor aparente da luz emitida. Aumentando este valor, a cor da luz emitida passa de uma tonalidade quente a uma tonalidade mais fria (do avermelhado para o azulado). Podem-se observar as diferentes tonalidades de cor emitida na tabela 3.1:

Tabela 3.1: Temperatura da cor

Temperatura	Tonalidade
9000 K	Luz do céu azul
6000 K	Luz branca fria
4500 K	Luz branca natural
3000 K	Luz branca quente
1900 K	Luz da Vela

- **Restituição de cores** — Expressa pelo "índice de restituição cromática"(IRC) com valores compreendidos entre 0 e 100, indica a capacidade da fonte luminosa de restituir fielmente as cores de um objeto ou de uma superfície iluminada.

Tabela 3.2: Índice de Restituição Cromática

	IRC
Elevado	>90
Aceitável	70<IRC <90
Medíocre	60 <IRC <70
Fraco	60 <

- **Duração de vida média** — Representa o número de horas após as quais 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso.

### 3.2.1 Lâmpadas de Incandescência

Podem-se dividir em dois grupos, lâmpadas de filamento e lâmpadas de halogéneo.

As lâmpadas de filamento, ou incandescentes normais, são constituídas por um filamento de tungsténio que se encontra, juntamente com um gás inerte, no interior de uma ampola de vidro. Aquando da passagem eléctrica pelo filamento, os eletrões chocam com os átomos de tungsténio provocando uma libertação de energia em forma de calor e luz. [12]

A sua utilização é cada vez menos frequente, apresentando o rendimento mais baixo de todos os tipos de lâmpadas (cerca de 10 lm/W) e uma reduzida duração de vida média (1000 horas). Tem como vantagem uma muito boa restituição de cores, um preço baixo e a facilidade de ligação direta à rede.

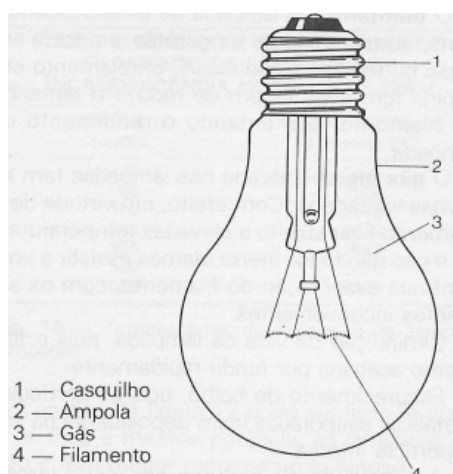


Figura 3.5: Lâmpada incandescente de filamento

As lâmpadas de halogéneo possuem um princípio de funcionamento idêntico às de filamento com a diferença de que são preenchidas com gases inertes e halogéneo (iodo, cloro, bromo), que fazem com que os átomos de tungsténio libertados durante a passagem de corrente eléctrica voltem ao filamento em vez de se depositarem na superfície interna da ampola, como acontece com as lâmpadas incandescentes de filamento.[12]

Por esta razão, é possível reduzir o tamanho da lâmpada para a mesma potência, apresentando também uma maior durabilidade. Possuem um rendimento de cerca de 25 lm/W, muito boa restituição de cores, uma duração média de vida entre 2000 e 4000 horas e podem ser ligadas diretamente à rede ou alimentadas por tensão reduzida.



Figura 3.6: Lâmpada incandescente de halogéneo

### 3.2.2 Lâmpadas de descarga

As lâmpadas de descarga dividem-se em dois grandes grupos: alta pressão e baixa pressão. O primeiro grupo subdivide-se em quatro diferentes tipos de lâmpadas: vapor de mercúrio de alta pressão; vapor de sódio de alta pressão; vapor de sódio de alta pressão de luz branca; vapor de mercúrio de iodetos.

O segundo grupo subdivide-se em três tipos diferentes: fluorescentes; fluorescentes compactas; vapor sódio de baixa pressão.

#### 3.2.2.1 Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão

Consiste num tubo de descarga que possui dentro vapor de mercúrio e árgon e quatro elétrodos: dois principais e dois auxiliares. A luz emitida é caracterizada pela falta de radiações vermelhas provocando uma luz branco-azulada. [12]

É muito utilizada em iluminação pública, aeroportos e grandes naves industriais.

Tem um rendimento moderado entre 36 a 60 lm/W e uma vida útil elevada de cerca de 10000 horas. O seu índice de restituição de cor situa-se entre 40 e 57.

Para o seu arranque necessita de balastro e condensador e têm um tempo de arranque e re-arranque de 4 e 6 minutos, respetivamente.

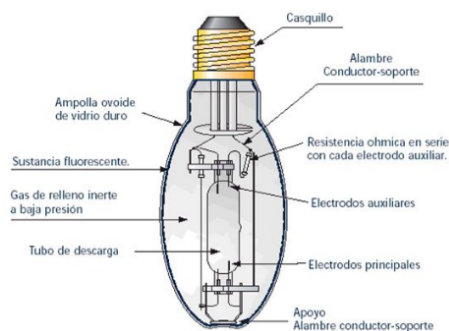


Figura 3.7: Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão

### 3.2.2.2 Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

São lâmpadas muito utilizadas em iluminação industrial e pública, nomeadamente infraestruturas rodoviárias, visto serem locais sem necessidade de um elevado IRC.

Têm elevada eficiência, de cerca de 140 lm/W, longa durabilidade com uma duração de vida média de 12 000 horas. Têm um tempo de arranque e de re-arranque de 5 minutos e 1 minuto, respectivamente, e necessitam de aparelhagem auxiliar: balastro, ignitor e condensador.

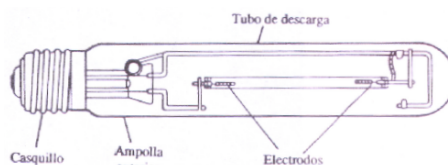


Figura 3.8: Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

### 3.2.2.3 Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos

Combinam, no tubo de descarga, uma mistura de iodetos metálicos nomeadamente, iodetos de sódio, índio e tálio apresentando um IRC elevado (85 a 95), favorecendo espaços onde seja necessária uma boa restituição de cores. Apresentam um rendimento de cerca de 80 lm/W, uma duração média de vida de 3000 a 9000 horas e possuem uma amplitude na temperatura de cor desde os 3000 a 7000 °K.

Necessitam de aparelhagem auxiliar (balastro, ignitor e condensador) e têm um tempo de arranque e re-arranque de 4 minutos e 10 minutos, respectivamente.



Figura 3.9: Lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos

#### 3.2.2.4 Lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão (fluorescentes)

As lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão, mais conhecidas como fluorescentes, consistem numa descarga provocada dentro do tubo de descarga, preenchido com argon e vapor de mercúrio a baixa pressão, a qual emite radiação ultravioleta que é transformada em radiação visível por pó fluorescentes que reveste o interior do tubo.

O seu rendimento é de cerca de 100 lm/W, têm um IRC de 85 a 95, temperatura de cor entre 2700 e 5000 ° K e uma duração média de vida de 7 500 a 10 000 horas, dependendo da frequência de acendimentos, que fazem reduzir este valor.

Necessitam de aparelhagem auxiliar, balastro magnético (balastro e condensador) ou balastro eletrónico que, com a utilização deste último a duração média de vida da lâmpada aumenta em 50% e o seu tempo de arranque é instantâneo ao contrário do balastro magnético em que o arranque é instantâneo com cintilações.

Inicialmente, as primeiras lâmpadas fluorescentes eram compostas por um tubo de descarga com 38 mm de diâmetro (T12) e utilizavam um pó fluorescente comum. Com a evolução dos elementos no interior do tubo, tornou-se possível a melhoria das suas características e a redução do diâmetro de uma forma faseada. Primeiro com o tipo T10 com 33,5 mm de diâmetro, seguindo-se as T8 que apresentam um diâmetro de 26 mm e são tri-fosfóricas e contêm apenas 3 mg de mercúrio e, finalmente, as T5 com um diâmetro de 16 mm que possuem um novo pó tri-fosforo garantindo um melhor rendimento e uma melhor restituição de cores e funcionam apenas com balastros eletrónicos.

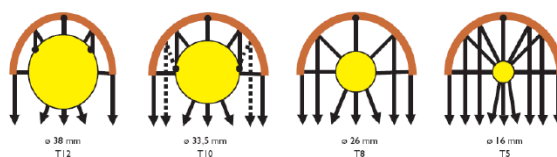


Figura 3.10: Lâmpada fluorescente tubular

### 3.2.2.5 Lâmpadas fluorescentes compactas

Utilizam a mesma tecnologia que as fluorescentes tendo um ou mais tubos de descarga em forma de U, tornando a lâmpada mais compacta.

A possibilidade de apresentarem um tamanho semelhante às lâmpadas incandescentes e casquilho E27, tornaram-nas as suas substitutas naturais obtendo um maior rendimento, 50 a 69 lm/W, e maior tempo de vida útil, 8 000 horas.

Têm um IRC de 85 a 95, temperatura de cor de 2700 a 5400 °K e existem também com casquilho E14, além do já referido E27 para substituição direta das lâmpadas de incandescência, e também com refletor interno para substituição das lâmpadas de halogéneo com refletor interno.



Figura 3.11: Lâmpada fluorescente compacta

### 3.2.2.6 Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão

É o tipo de lâmpadas com maior rendimento luminoso, de cerca de 200 lm/W. Apresenta um valor quase nulo de IRC, emitindo uma luz monocromática amarela, e temperatura de cor de 1700°K. Tem uma duração média de vida de 12 000 horas, necessita de aparelhagem auxiliar e precisa de 10 minutos para o seu arranque.

Devido ao seu carácter monocromático garante uma elevada acuidade visual, sendo usada principalmente em iluminação pública e iluminação de vigilância.

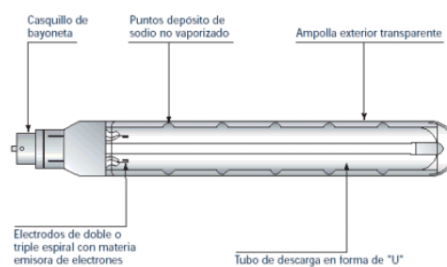


Figura 3.12: Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão

### 3.2.2.7 Lâmpadas mistas

Combinam a tecnologia das lâmpadas incandescentes com as lâmpadas de descarga, possuindo um filamento em série com um tubo de descarga. O filamento de tungstênio faz a limitação da corrente em funcionamento normal substituindo o balastro.

Têm um rendimento de 26 lm/W e uma restituição de cores média, com uma duração de vida média de 2 000 horas. São usadas principalmente em iluminação de estabelecimentos comerciais (principalmente montras).

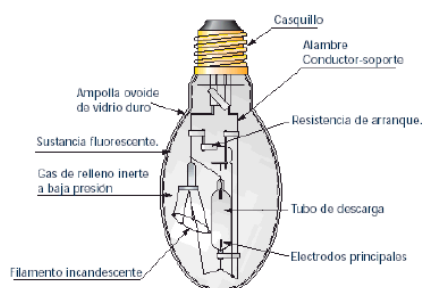


Figura 3.13: Lâmpada mista

### 3.2.2.8 Lâmpadas de indução

Possuem um núcleo de ferrite em vez dos elétrodos que cria um campo magnético induzindo uma corrente elétrica no gás presente no interior da ampola, provocando a sua ionização e a emissão de radiação luminosa visível.

O fato de funcionarem a altas frequências permite obter uma luz confortável e sem cintilações.

Possuem um rendimento luminoso que se situa entre 60 e 80 lm/W, IRC de 80, temperatura de cor de 2700° K a 4000° K e uma duração de vida média de 60 000 horas.

Necessitam de aparelhagem auxiliar nomeadamente um gerador de alta frequência externo e tem um tempo de arranque e re-arranque rápido e sem cintilações.

São aplicadas principalmente em iluminação de túneis e naves industriais muito altas com manutenção difícil.

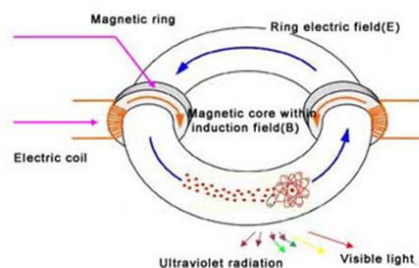


Figura 3.14: Lâmpada de indução



### 3.2.2.9 Lâmpadas LED (Light Emitting Diodes)

A emissão da luz é feita com recurso a componentes eletrónicos, nomeadamente díodos semicondutores, que emitem luz por eletro-luminescência. A cor da luz emitida depende da composição do material semicondutor utilizado.

Uma tecnologia que, apesar do custo de aquisição apresenta grandes vantagens em relação às restantes fontes de luz: rendimento superior até cerca de 120 lm/W num LED branco frio; emissão de luz de determinada cor sem recurso a filtros; duração de vida útil elevada de 50 000 horas, dimensões reduzidas e não contêm metais pesados, chumbo ou mercúrio tornando esta tecnologia amiga do ambiente. [13]



Figura 3.15: Lâmpadas LED

### 3.2.3 Comparação das características dos diferentes tipos de lâmpadas

A imagem seguinte, imagem 3.16 na página 26, apresenta um gráfico com o rendimento luminoso de cada tipo de lâmpadas referido, onde podemos fazer um comparativo entre as mesmas.

No trabalho proposto por esta dissertação insere-se a elaboração do projeto luminotécnico da escola avaliando a possibilidade de reduzir a iluminância nos diferentes espaços e aumentar a eficiência energética. Assim sendo, irá ser dado mais ênfase às lâmpadas usadas para a iluminação de interiores, nomeadamente incandescentes, fluorescentes e LED.

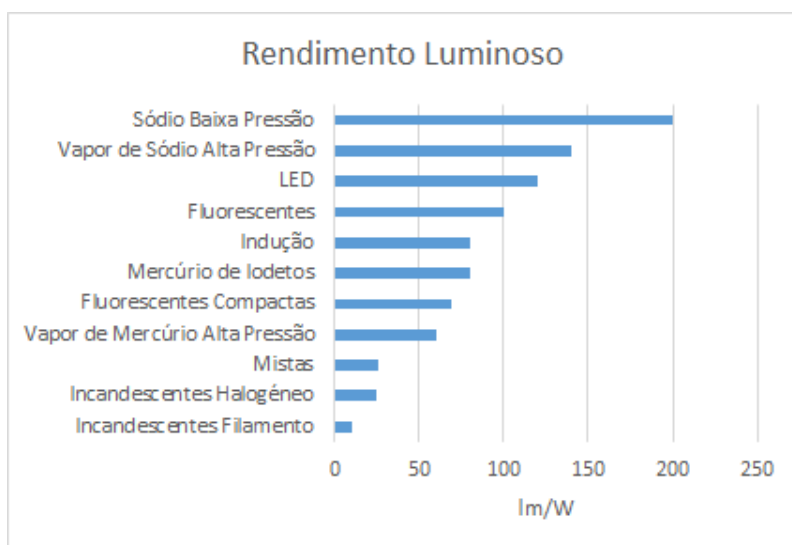


Figura 3.16: Comparação entre o rendimento dos diferentes tipos de lâmpadas

As lâmpadas incandescentes são facilmente postas de parte devido ao seu fraco rendimento além de que, o fabrico e importação das lâmpadas de filamento está proibido nos países da União Europeia desde 2013 e das lâmpadas de Halógeno desde Setembro de 2016, só se encontrando no mercado o stock existente.

Comparando então as lâmpadas que sobram (Fluorescentes e LED) verificamos que as LED têm maior rendimento, apesar de ser elevado em ambas as duas. São ambas excelentes opções para iluminação interior visto que as lâmpadas fluorescentes, apesar de um rendimento inferior, têm um preço de aquisição baixo e uma vida útil elevada e as LED, apesar do custo de aquisição mais alta, têm um rendimento muito superior e uma duração média de vida muito elevada.

Na tabela 3.3, na página 27, é possível observarmos as características vantajosas e desvantajosas de todos os tipos de lâmpada para uma mais fácil comparação entre elas.

Tabela 3.3: Comparação entre os diferentes tipos de lâmpadas

Tipo de lâmpada	Vantagens	Desvantagens
Incandescentes de Filamento	Reduzidas dimensões. Acendimento imediato. Ótima restituição de cores. Preço reduzido.	Baixo rendimento. Reduzida duração de vida. Elevada produção de calor. Importação e fabrico proibidos na UE desde 2013.
Incandescentes de halogéneo	Dimensões muito reduzidas. Ótima restituição de cores. Acendimento imediato. Preço reduzido.	Baixo rendimento. Reduzida duração de vida. Elevada produção de calor. Importação e fabrico proibidos na UE desde Setembro de 2016.
Vapor de mercúrio de alta pressão	Dimensões reduzidas. Bom rendimento. Longa duração de vida.	Restituição de cores satisfatória. Tempos de acendimentos e reacendimentos elevados. Custo elevado.
Vapor de sódio de alta pressão	Dimensões reduzidas. Muito bom rendimento. Longa duração de vida.	Restituição de cores satisfatória. Tempos de acendimentos e reacendimentos elevados. Custo elevado.
Vapor de mercúrio de iodetos	Dimensões reduzidas. Bom rendimento. Longa duração de vida. Boa restituição de cores.	Tempos de acendimento e reacendimento elevados. Custo elevado.
Fluorescentes lineares	Elevado rendimento. Boa restituição de cores. Longa duração de vida.	Comprimento considerável. Necessidade de aparelhos auxiliares.
Fluorescentes compactas	Dimensões reduzidas. Elevado rendimento. Boa restituição de cores. Possibilidade de várias tonalidades de cor. Longa duração de vida.	Necessidade, em alguns casos, de aparelhagem auxiliar. Elevada taxa de distorção harmónica.
Vapor de sódio de baixa pressão	Rendimento excelente. Longa duração de vida.	Dimensões consideráveis nas potências mais elevadas. Péssima restituição de cores. Tempos de acendimento e reacendimento elevados. Custo elevado.
Indução	Elevado rendimento. Boa restituição de cores. Muito longa duração de vida.	Custo muito elevado. Necessidade de aparelhagem auxiliar.

### 3.3 Balastros

Fazem parte da aparelhagem auxiliar necessária para o acendimento das lâmpadas de descarga e têm como principal função a limitação da corrente de funcionamento e adequação das tensões para um correto funcionamento do equipamento. São responsáveis também, juntamente com os arrancadores, de pré-aquecerem os elétrodo para provocar a emissão de eletrões produzindo a tensão necessária para se dar início à descarga.

#### 3.3.1 Balastros eletromagnéticos

São constituídos por um núcleo de aço silício e bobinas de fio de cobre esmaltado. Devido à presença de bobinas, apresentam um fator de potência baixo obrigando a que, em instalações com um grande número de lâmpadas fluorescentes, seja necessário usar equipamentos para a compensação do fator de potência.

Atualmente o seu uso é proibido na União Europeia.

#### 3.3.2 Balastros eletrónicos

São constituídos por condensadores e bobinas para alta frequência, resistências, circuitos integrados e outros componentes eletrónicos e trabalham em alta frequência, proporcionando um melhor rendimento das lâmpadas. [12]

Os balastros eletrónicos possuem a seguinte classificação: A1 (balastros eletrónicos com regulação); A2 (balastros eletrónicos com baixas perdas); A3 (balastros eletrónicos standard).

Comparando com os balastros eletromagnéticos, estes apresentam as seguintes vantagens:

- A lâmpada pode produzir cerca de 10% de luz a mais para a mesma potência absorvida;
- Tem um fator de potência acima de 95%;
- Elimina o efeito de Flicker, que consiste na extinção da luz duas vezes por ciclo (a 50 Hz), sempre que a corrente passa pelo zero;
- Elimina o ruído audível, tendo em conta que funciona a alta frequência e, por isso, trabalham acima da gama audível;
- Aumenta a duração de vida das lâmpadas;
- Desliga automaticamente as lâmpadas em caso de anomalia;
- Não precisam de condensador de compensação;
- Baixa temperatura de funcionamento;
- Funciona em corrente contínua;
- Possibilita um controlo versátil do fluxo luminoso.

### 3.4 Luminárias

Luminária é um equipamento de suporte da lâmpada que para além do suporte, tem como objetivo a proteção da mesma e a modificação da luz emitida por ela. Para esta modificação ocorrer existem dois componentes, o refletor e o difusor.

O difusor tem como função evitar a emissão de luz direta da lâmpada para o plano de trabalho, impedindo assim o encandeamento e permitindo que haja um contraste mais suave entre as zonas iluminadas e as zonas não iluminadas. O encandeamento traduz-se na redução da capacidade de visualizar os objetos provocado pela iluminação direta da visão.

Este ofuscamento pode ser direto caso seja provocado diretamente pela luminária ou pela lâmpada ou indireto quando se dá através do reflexo em superfícies de objetos.

O refletor, situa-se dentro da luminária, normalmente por cima da lâmpada e tem como função refletir a luz, promovendo um melhor aproveitamento da luz emitida para cima no caso de uma lâmpada pendurada no teto.

O rendimento de uma luminária é o quociente do fluxo luminoso emitido pela luminária à temperatura de 25° C e o fluxo luminoso total emitido por todas as lâmpadas instaladas nessa luminária também a uma temperatura de 25° C.

As luminárias e qualquer outro tipo de equipamento elétrico têm na sua designação um índice de proteção (IP) definido por um número e que informa o grau de proteção contra a penetração de poeiras, corpos sólidos e humidade.

Este número é definido por um campo numérico de dois dígitos colocados à direita da sigla IP, correspondendo o primeiro dígito ao grau de proteção contra a penetração de poeiras e corpos sólidos e o segundo dígito ao grau de proteção contra a penetração de líquidos.

As luminárias possuem também um grau de proteção aos choques mecânicos definido pelo índice IK, representado por um número à direita da sigla IK. Este número corresponde à energia de impacto a que o invólucro resiste.

Segundo a norma EN 60598 é obrigatório um índice IK mínimo de IK02.[12]

### 3.5 Gestão da iluminação

A gestão de iluminação permite alcançar um elevado potencial de economia de energia e consiste no uso inteligente da iluminação, tanto natural como artificial. A utilização da luz natural de modo que permita reduzir a utilização de luz artificial através de divisão de circuitos ou adaptar o momento de acendimento ou o fluxo luminoso consoante o tipo de ocupação do ambiente artificial em questão são algumas das maneiras de tornar possível essa economia de energia.

Irão ser apresentados diferentes tipos de gestão de iluminação que podem ser usados em diferentes locais dependendo do seu tipo de utilização, modo de ocupação e da presença de luz natural, podendo ser integrados numa gestão centralizada.

### 3.5.1 Zonagem

Consiste em dividir os circuitos de iluminação tendo em conta a presença de iluminação individual ou a iluminação natural do local, por exemplo, as armaduras colocadas junto a uma janela estarem num circuito diferente das restantes armaduras e serem apenas ligadas quando houver falta de luminosidade natural.

É um tipo de gestão que requer sensibilização dos ocupantes visto recorrer a comandos manuais e a sua adoção numa instalação já existente vai requerer a recablagem dos circuitos.

### 3.5.2 Gestão horária

A sua utilização é aconselhada em edifícios onde o horário de trabalho é fixo para se desligar toda a iluminação ou em locais de grande dimensão com a instalação de um ou mais interruptores horários. Podemos então utilizar os seguintes equipamentos:

- **Automáticos de escada:** muito utilizados em locais de passagem, efetuam a extinção automática da iluminação ao fim de determinado tempo.
- **Interruptores horários:** são interruptores que permitem que se ligue e desligue a iluminação num horário predefinido.

### 3.5.3 Detecção de presença

Recomendada em locais onde a ocupação é ocasional, ligando a iluminação quando entra alguém e desligando no caso de ausência, ou quando a ocupação é prolongada recorrendo a um comando de regulação do fluxo luminoso das armaduras provocando um fluxo máximo quando estão presentes ocupantes e fluxo mínimo quando estes se ausentam.

Os detetores de presença designados por detetores volumétricos dividem-se em três tipos, detetores volumétricos de infravermelhos passivos (PIR) que recorrem à deteção do calor libertado pelo corpo humano; detetores volumétricos de ultra sons que reagem à variação das ondas sonoras refletidas provocados pelo movimento de um corpo; detetores bi-volumétricos que incorporam tecnologia dos dois tipos anteriores.

### 3.5.4 Gestão em função da quantidade de luz natural

Poder ser efetuada no modo ON/OFF, por patamar ou por variação contínua do fluxo luminoso e permite em locais com muita iluminação natural, desligar ou diminuir a iluminação artificial assegurando a economia de energia.

Comando ON/OFF em função da iluminação exterior: a existência de luz natural suficiente para assegurar os níveis recomendados permite a não utilização de iluminação artificial. Esta será usada apenas no início e no fim do dia e durante a noite. Tem como vantagem o custo moderado devido à necessidade de um número limitado de sensores, mas depende da configuração do local não sendo fácil de regular.

Regulação contínua do fluxo luminoso em função da iluminação interior: nestes casos, a grandeza medida que serve para a regulação é a iluminância interior ao invés da exterior. É mais utilizada em locais com fraca iluminação natural onde a iluminação artificial desempenha um papel importante.

Permite uma boa ergonomia com grandes poupanças de energia e, para total eficácia, deve ser complementada com mais algumas funções, como por exemplo a instalação de um detetor de presença ou um interruptor horário para evitar que as lâmpadas se mantenham ligadas quando não se encontra ninguém presente.

### 3.5.5 Gestão centralizada da iluminação

Os sistemas de gestão da iluminação podem ser integrados numa gestão centralizada que se caracteriza por todos os equipamentos estarem ligados em paralelo sob o mesmo bus de comunicação tendo cada armadura e cada comando um endereço próprio. Permite que seja definido o controlo das armaduras (individualmente ou em grupo) num interruptor qualquer e permite também a gestão centralizada da iluminação.

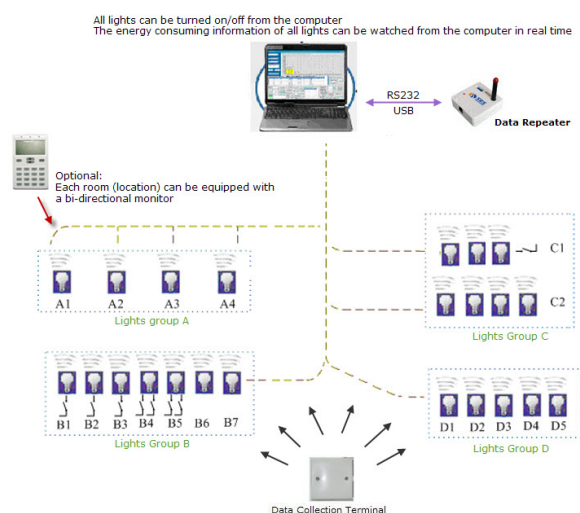


Figura 3.17: Exemplo de gestão centralizada da iluminação





## Capítulo 4

### AVAC

A instalação de equipamentos de AVAC é considerado, pela Parque Escolar, de elevada importância por causa da qualidade do ar interior das escolas, tendo por isso critérios de grande rigor onde se devem basear a sua conceção e dimensionamento. [11]

AVAC é a sigla para Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado e representa um conjunto de sistemas que permitem controlar a temperatura, humidade, ventilação e qualidade do ar proporcionando uma melhoria do bem-estar e segurança dos ocupantes. Estes equipamentos podem ser classificados de acordo com a seguinte imagem 4.1. [14]

Função Termodinâmica do Equipamento de Tratamento do Ar		Designação da Instalação
Número	Tipo	
Nenhuma ou uma só	N	Ventilação
	A	
	R	
	H	
	D	
Duas	A / R	Climatização ou condicionamento do Ar parcial
	A / H	
	A / D	
	R / H	
	R / D	
Três	H / D	Climatização ou condicionamento do Ar parcial
	A / R / H	
	A / R / D	
	R / H / D	
Quatro	A / R / H / D	Climatização ou condicionamento total do Ar

1 - N - Nenhuma (sem nenhuma função termodinâmica)  
A - Aquecimento  
R - Refrigescer (Arrefecimento)  
H - Humidificação  
D - Desumidificação

2 - Quando se encontra prevista filtragem, adiciona-se um F (filtro).

Figura 4.1: Caracterização de um sistema AVAC.

Um sistema de equipamentos AVAC tem como objetivo o tratamento do ar, total ou parcial dependendo do número de transformações termodinâmicas a que é submetido, e é constituído pelos equipamentos de produção dos fluídos térmicos para o aquecimento e/ou arrefecimento do ar e todos os materiais e acessórios indispensáveis ao seu correto funcionamento.

## 4.1 Chiller

Também chamado de máquina frigorífica, é responsável pelo arrefecimento da água recorrendo a um sistema de refrigeração, utilizando o mesmo princípio de um frigorífico.

São soluções de grande porte com elevada capacidade de resposta e que trabalham num leque alargado de temperatura, ideais para a climatização de espaços e refrigeração de equipamentos.

## 4.2 Caldeira

É um equipamento cuja finalidade é produção de água quente consoante as necessidades específicas da instalação onde se insere. O aquecimento da água pode ser efetuado de duas formas:

- Aquecimento de águas instantâneas, onde a água fria circula diretamente na caldeira para ser aquecida.
- Aquecimento de águas por acumulação, em que a água fria circula para dentro do acumulador num circuito separado do circuito da caldeira. Neste último circula água aquecida que ao passar pela serpentina vai aquecer a água fria.

## 4.3 Unidade de tratamento de ar

Uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) é uma máquina de produção centralizada de ar condicionado que trata o ar que normalmente vai ser fornecido aos edifícios através de uma rede de condutas de ventilação.

O ar é tratado através de filtragem, aquecimento e/ou arrefecimento, humidificação e/ou desumidificação, podendo este ser misturado com ar interior já condicionado anteriormente ou ser 100% ar exterior, no caso das Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN), que por vezes utilizam o ar circulante para aproveitamento da sua temperatura.

São compostas por um ventilador mecânico, elementos de aquecimento e arrefecimento (chillers e caldeiras), elementos de filtragem, atenuadores de ruído e grelhas de admissão e saída.

- **Ventilador** — Pode operar a uma única velocidade, a várias pré-estabelecidas ou ser de velocidade variável permitindo uma ampla gama de caudais de ar. Este pode ser controlado com recurso ao uso de grelhas reguláveis de admissão e saída.
- **Filtros** — Permitem o fornecimento de ar limpo, sem partículas, ao interior do edifício. Existem diferentes tipos de filtros e normalmente são colocados junto à entrada de ar na UTA aos pares, um filtro de partículas grossas e um filtro de partículas finas.
- **Humidificador** — É frequentemente necessário em climas mais frios onde o aquecimento contínuo do ar o torna mais seco, denegando a qualidade do ar interior e aumentando a eletricidade estática.

- **Módulo de mistura** — É um equipamento que não é utilizado nas UTAN, porque utilizam apenas ar novo, mas nas restantes UTA permitem o reaproveitamento de parte do ar retirado do interior do edifício misturando-o com ar novo vindo do exterior.
- **Dispositivo de recuperação de calor** — A recuperação de calor do ar que é extraído do edifício permite a diminuição do consumo da UTA, que é normalmente de valores elevados. Existem diversos tipos de recuperadores com diferentes eficiências e também com diferentes custos de investimento, sendo necessário um estudo à sua rentabilidade.
- **Apoios antivibráticos** — Como os ventiladores da UTA produzem vibrações e ruídos que depois se irão transmitir para o restante edifício através das condutas, são incorporados apoios antivibráticos nas condutas imediatamente antes e depois da UTA. Estes apoios, que consistem em juntas flexíveis de tela de borracha, evitam a propagação das vibrações provocadas pela UTA às condutas adjacentes. Pode ainda ser instalado nos apoios entre o ventilador e o edifício, uma suspensão do tipo mola.



## Capítulo 5

# Qualidade de Energia

Durante muitos anos as empresas distribuidoras de energia tinham como principais indicadores de qualidade de energia elétrica (QEE) a continuidade de serviço e a manutenção dos valores estipulados de tensão e frequência.

O aparecimento de equipamentos ligados à rede elétrica que são sensíveis aos fatores de QEE e que contribuem negativamente para esses mesmos fatores veio alterar a forma como as empresas distribuidoras encaram hoje em dia a QEE. [15]

A indústria é fortemente afetada por esta mudança que pode provocar avultados prejuízos económicos através da paragem de unidades de produção ou da avaria de equipamentos, provocada pela falta de energia com qualidade e, muitas vezes sem completo conhecimento da causa ou do causador.[15]

A QEE é definida na norma EN 50160, na qual também são especificadas as características principais, no ponto de entrega ao cliente, da tensão de alimentação por uma rede de distribuição pública em baixa ou média tensão, em condições de exploração normais. [16]

### 5.1 Desequilíbrios na tensão ou corrente em sistemas trifásico

Nos sistemas trifásicos, os desequilíbrios na tensão consistem na diferença significativa entre os valores eficazes das tensões presentes na instalação enquanto os desequilíbrios de corrente acontecem quando nas três fases percorrem diferentes intensidades, provocadas pela má distribuição das cargas.

Este desequilíbrio provoca a circulação de corrente no neutro que pode levar ao sobreaquecimento geral dos componentes que compõem a instalação e deve ser previsto no projeto inicial de instalações elétricas.

### 5.2 Fator de potência

Ao contrário do que acontece nas instalações domésticas, quer pela sua quantidade quer pela sua natureza, grande parte dos equipamentos ligados a uma instalação de um edifício de serviços

provoca um elevado consumo de energia reativa além de energia ativa.

Esta é necessária para a criação de campos eletromagnéticos requeridos pelas cargas indutivas para o seu funcionamento e é medida em kVAr. A potência ativa é responsável pelo trabalho realizado pela carga e é medida em kW.

À potência total da carga elétrica dá-se o nome de potência aparente, medida em kVA, e corresponde à combinação da potência ativa com a potência reativa, de acordo com a imagem 5.1.

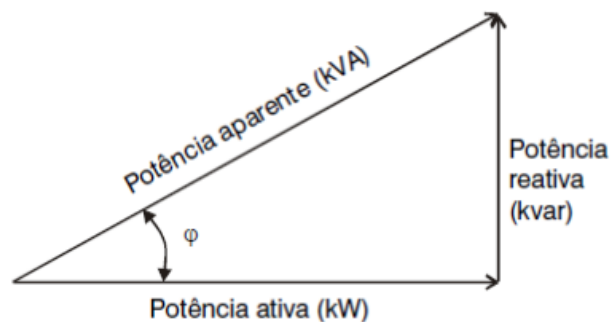


Figura 5.1: Triângulo de potências

O fator de potência é a relação entre a potência ativa e a potência aparente consumidas por um ou mais equipamentos de uma instalação elétrica, independentemente das formas que as ondas de tensão e corrente apresentem, equação 5.1.

$$FP = P/S \quad (5.1)$$

Como a energia reativa circula no sistema elétrico apesar de não produzir trabalho, ocupando desta forma "espaço" que poderia ser ocupado por energia ativa, o consumo desse tipo de energia tem um custo associado elevado, num esforço das entidades reguladoras e das empresas de distribuição em obrigar de certo modo os consumidores a melhorarem a eficiência das suas instalações.

A faturação da energia reativa é calculada, não segundo o fator de potência mas sim segundo a  $\tan\phi$ , que relaciona a potência reativa em função da potência ativa, equação 5.2.

$$\tan\phi = Q/P \quad (5.2)$$

De acordo com o despacho 7253/2010 publicado a 26 de Abril de 2010, quando este valor excede os 0,3, a energia reativa é faturada, nos períodos das horas cheias, utilizando um fator multiplicador que varia de acordo com a tabela 5.1. [17]

Tabela 5.1: Faturação da energia reativa.

Tan $\varphi$	Fator multiplicador
0,3 a 0,4	1/3
0,4 a 0,5	1
>0,5	3

### 5.3 Poluição Harmónica

Antes do desenvolvimento da eletrónica, a grande maioria dos equipamentos ligados à rede de energia eléctrica eram cargas lineares, sendo alimentadas por grandezas eléctricas sinusoidais.

A eletrónica, nomeadamente eletrónica de potência, veio introduzir cargas não lineares nas redes eléctricas que provocam uma deformação das ondas das grandezas eléctricas que as alimentam.

Esta deformação, sob a forma de distorção na onda, provoca poluição na rede eléctrica através do aparecimento de componentes harmónicas que resulta num aumento das perdas relacionadas com o transporte e distribuição de energia eléctrica, em problemas de interferências com sistemas de comunicação e na degradação do funcionamento da maior parte dos equipamentos ligados à rede, principalmente os mais sensíveis por incluírem sistemas de controlo microeletrónicos que operam com níveis de energia muito baixos. [18]

A distorção das formas de onda que surgem nos sistemas eléctricos pode ser caracterizada pela existência de termos harmónicos na sua decomposição em série de Fourier [19]. As formas de onda podem ser decompostas numa onda (sinusoidal) fundamental e num número de componentes harmónicas de ordem par e ímpar cujas frequências são inteiros múltiplos da frequência da onda fundamental.

Para um sistema trifásico desequilibrado ou assimétrico e, para simplificar o seu estudo, decompõe-se nas suas componentes simétricas designadas direta, inversa e homopolar. São compostas por três formas de onda sinusoidais que se encontram desfasadas 120° entre elas, assumindo um sistema equilibrado com rotação de fase normal.

As componentes direta e inversa caracterizam-se pelas três sequências de fase com o desfaseamento de 120° com uma rotação no sentido anti-horário, no primeiro caso, e horário, no segundo enquanto a componente homopolar possui de igual modo as três sequências de fase, mas estas todas em fase.

As sequências de fase podem ser determinadas recorrendo à ordem das componentes harmónicas, como se pode verificar na tabela 5.2, na página 39.

Tabela 5.2: Classificação das harmónicas

Nome	Fundamental	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	...
Freq. [Hz]	50	100	150	200	250	300	350	400	450	...
Sequência	+	-	0	+	-	0	+	-	0	...

Como se pode verificar, os harmônicos de ordem par que não sejam simultaneamente triplos são de componente direta ou inversa, ou seja, as correntes de fase têm o desfasamento de  $120^\circ$  entre si pelo que se vão anular no neutro. Já nos harmônicos de ordem 3 e respetivos múltiplos, as correntes são iguais e estão em fase, somando-se no neutro.

Nestes casos, a corrente do neutro é a soma das três correntes nas linhas devido ao terceiro harmónico. Nos restantes harmónicos ímpares, as correntes têm a mesma intensidade nas linhas, mas não estão em fase, o que faz com que a corrente no neutro seja superior à corrente de uma linha, mas inferior à soma das três correntes.

A norma EN 50160, que regula os valores de desvio das características da forma de onda da tensão, utiliza como indicador para a quantificação das componentes harmónicas a taxa de distorção harmónica total, *total harmonic distortion* (THD) em inglês.

No caso de estudo desta dissertação, a poluição harmónica vai ser avaliada recorrendo ao cálculo da THD, equação 5.3 na página 40.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2} \quad (5.3)$$

De acordo com a norma, este valor não pode ultrapassar o 8% em 95% dos períodos de 10 minutos. [20]

### 5.3.1 Valor máximo de distorção harmónica de corrente ( $THD_i$ ) e valor máximo de cada harmónico de corrente

Estes valores são fornecidos pelo IEE 519-1992 através da relação entre a corrente de curto-circuito com a corrente fundamental, de acordo com a tabela 5.3. Para a determinação da corrente de curto-circuito foi pedido à EDP a potência de curto-circuito da área onde se encontra a escola e recorreu-se à equação 5.4.

Tabela 5.3: Corrente harmónica máxima em % da corrente fundamental

Harmónicos ímpares						
$I_{CC}/I_L$	<11	11 ≤ n < 17	17 ≤ n < 23	23 ≤ n < 35	n ≥ 35	$THD_i(\%)$
$\frac{I_{CC}}{I_L} < 20$	4	2	1,5	0,6	0,3	5
$20 < \frac{I_{CC}}{I_L} < 50$	7	3,5	2,5	1	0,5	8
$50 < \frac{I_{CC}}{I_L} < 100$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$100 < \frac{I_{CC}}{I_L} < 1000$	12	5,5	5	2	1	15
$\frac{I_{CC}}{I_L} > 1000$	15	7	6	2,5	1,4	20

$$I_{CC} = \frac{1000 * MVA}{\sqrt{3} * kV} \quad (5.4)$$



$$I_L = \frac{kW}{PF * \sqrt{3} * kV} \quad (5.5)$$

### 5.3.2 Filtros de compensação

Se, após a análise da poluição harmónica de uma instalação, esta ultrapassa os valores de referência da norma para o THD torna-se necessário então a implementação de medidas corretivas com vista à redução desses valores.

Existem diversas técnicas para reduzir as componentes harmónicas de tensão e/ou corrente tais como o uso de filtros passivos ou ativos, o uso de conversores de alta potência, o aumento da quantidade de pulsos em unidade conversores através do uso de transformadores desfasadores ou técnicas de compensação de fluxo magnético. [15]

Destas destacam-se a utilização dos filtros de compensação ativa que correspondem a sistemas eletrónicos de potência que podem ser instalados em série ou em paralelo com as cargas não lineares.

Geralmente projetados para fazerem a compensação numa faixa do espetro harmónico, são simples de instalar podendo ser ligados em qualquer ponto da instalação. Esta deve ser idealmente junto à origem da poluição harmónica, mas pode ser também junto aos quadros de distribuição, realizando desta forma uma compensação parcial ou então no QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão) realizando uma compensação geral das componentes harmónicas.



## Capítulo 6

# Aproveitamento da Energia Solar

A luz solar emitida pelo Sol em apenas 90 minutos, chega para cobrir as necessidades energéticas do planeta para um ano inteiro. [21]

Tendo em conta que esta energia está disponível de forma absolutamente gratuita e não poluente tornou-se numa das grandes apostas a nível mundial para a resolução dos problemas energéticos, melhorando a sua acessibilidade e segurança no fornecimento, melhorando também os efeitos climáticos.

A nível europeu, Portugal é um dos países com melhores condições para este tipo de aproveitamento, dispondo de um número médio de 2200 a 3000 horas de sol por ano no continente e obtendo uma média do total anual da irradiação solar global entre  $1400 \text{ kWh/m}^2$  e  $1700 \text{ kWh/m}^2$ .

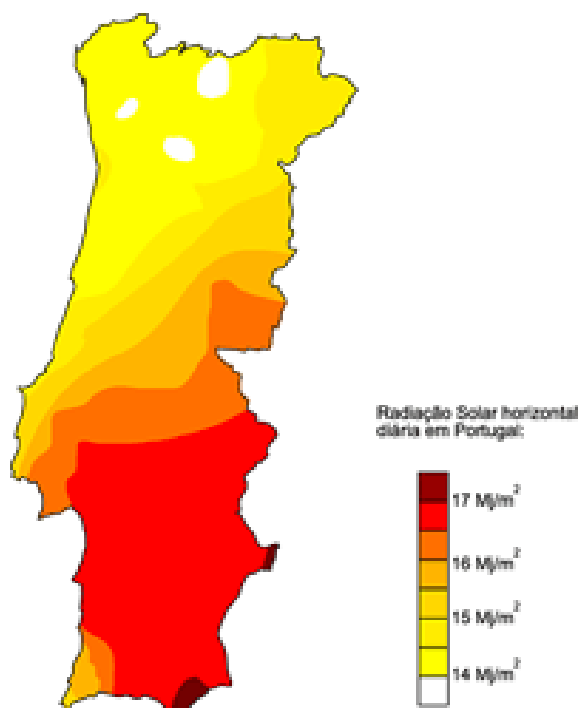


Figura 6.1: Radiação Solar em Portugal

O aproveitamento da energia solar pode ser feito através da sua transformação em eletricidade, através dos painéis fotovoltaicos, ou em calor, através dos painéis solares térmicos.

## 6.1 Sistemas Solares Térmicos

Recorrendo a um conjunto de equipamentos, um sistema solar térmico faz a conversão da energia solar em calor útil para ser utilizado em aplicação de água quente sanitária (AQS).

Um fluido de transferência térmica circula através de um coletor térmico colocado no exterior do edifício sendo aquecido pela energia solar armazenando calor útil e desloca-se depois para o depósito de acumulação transferindo o calor para a água aí presente armazenando a energia térmica. [22]

A complementar estes sistemas há equipamentos de apoio que têm como função a reposição da temperatura da água nos períodos em que a energia solar não seja suficiente. Pode ser a colocação de uma resistência elétrica na parte mais alta do depósito térmico ou então a conexão em série de um esquentador ou de uma caldeira.

Existem duas soluções para este tipo de sistema: termossifão e o sistema de circulação forçada.

### 6.1.1 Termossifão

Nesta solução o depósito é colocado acima do coletor térmico, tendo desta forma todos os componentes do sistema no exterior da casa. O fluido térmico quando está no coletor aquece e perde densidade deslocando-se para o depósito, colocado mais num ponto mais alto, transferindo a energia armazenada para a água presente no depósito. Nesta transferência o fluido arrefece e fica mais denso e, por isso, desce do depósito para o coletor empurrando o restante fluido num movimento contínuo provocado pela convecção natural, cessando quando a radiação é muito baixa ou nula.

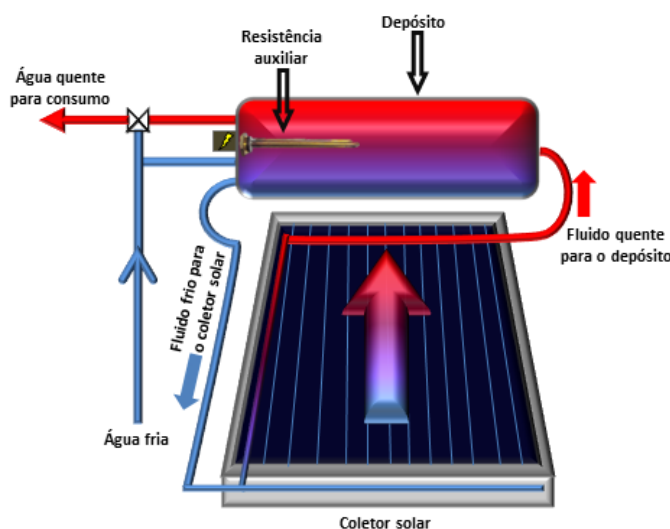


Figura 6.2: Sistema solar térmico de termossifão

### 6.1.2 Circulação forçada

Neste caso o equipamento não se encontra todo no exterior, colocando-se o depósito numa zona protegida das intempéries sendo necessário a existência de uma bomba de circulação para movimentar o fluido térmico entre o coletor e o depósito.

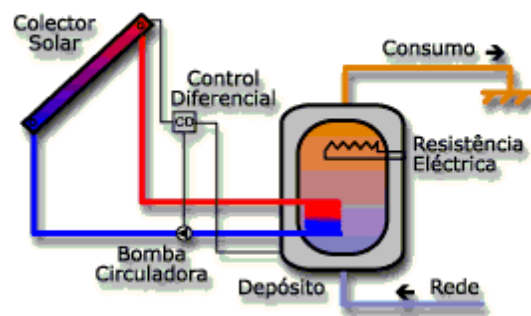


Figura 6.3: Sistema solar térmico de circulação forçada

## 6.2 Sistemas solares fotovoltaicos

Nos sistemas fotovoltaicos a radiação solar é convertida em energia elétrica por intermédio dos chamados semicondutores, que são configurados em elementos denominados células fotovoltaicas. Destes materiais o mais comum é o silício e o seu rendimento é cerca de 25 a 30%.

Um painel solar fotovoltaico é composto por quatro componentes básicos:

- Painel solar;
- Controlador de carga;
- Inversor;
- Baterias.

As células fotovoltaicas, que formam o painel solar fotovoltaico, são constituídas por duas camadas, uma negativa, com excesso de eletrões, e outra positiva, com falta de eletrões que migram para a zona negativa. A radiação solar, ao incidir nas células fotovoltaicas, provoca a interação entre os eletrões gerando eletricidade. [23]



Figura 6.4: Composição de um painel fotovoltaico.

Os controladores de carga funcionam como válvulas para o sistema monitorizando a tensão nos acumuladores das baterias, evitando sobrecargas ou descargas exageradas, aumentando a sua vida útil e o seu desempenho.

Como a eletricidade gerada no painel fotovoltaico é em corrente contínua, é necessário a instalação de um inversor para a sua passagem a corrente alternada para utilização na instalação elétrica no edifício ou injeção na rede.

Um sistema de painéis fotovoltaicos pode ser instalado com ligação à rede, injetando na mesma os excedentes de geração, ou como um sistema isolado em que o excedente é acumulado em baterias para utilização fora das horas de produção.

Está previsto, no âmbito desta dissertação, a elaboração do projeto de um sistema de painéis fotovoltaicos na Escola Secundária da Maia que estará ligado à rede pelo que vai ser abordado e estudado qual o melhor regime jurídico a adotar.

## Capítulo 7

# Regimes de produção distribuída

O Decreto-lei 153/2014, [24], veio criar os regimes jurídicos aplicáveis à produção distribuída de eletricidade. Um deles destinado ao autoconsumo e outro à venda de energia à rede elétrica de serviço público (RESP).

Nas unidades de produção em autoconsumo (UPAC), a energia produzida é injetada na instalação de consumo sendo eventuais excedentes injetados na RESP. Nas unidades de pequena produção (UPP), a energia produzida é totalmente injetada na RESP.

Na tabela 7.1, na página 48, é possível observar as condições criadas pelo DL 153/2014 para os dois regimes de produção distribuída. [24]

Tabela 7.1: Comparação entre os dois regimes de produção distribuída

	<b>Autoconsumo</b>	<b>Pequena Produção</b>
Fonte	Renovável e não renovável	Renovável
Limite de Potência	Potência de ligação <100% da potência contratada na instalação de consumo.	Potência de ligação <100% da potência contratada na instalação de consumo. Potência de ligação até 250 kW.
Requisitos de produção	Produção anual deve ser inferior às necessidades de consumo. Venda do excedente instantâneo ao CUR.	Produção anual <2x o consumo da instalação. Venda da totalidade da energia ao CUR.
Remuneração	Valor de mercado para excedente instantâneo de produção, deduzido de custos. Numa base anual, o excedente produzido face às necessidade de consumo não é remunerado.	Tarifa obtida em leilão para totalidade da produção. Numa base anual, o excedente produzido face ao requisito de 2x o consumo da instalação não é remunerado.
Compensação	0%, 30% ou 50% do respetivo valor dos CIEG quando a potência acumulada de unidades de autoconsumo contida nos intervalos [0;1%], [1%;3%], [3%;...] da potência instalada.	n.a.
Contagem	Contagem obrigatória para potências ligadas à RESP superiores a 1,5 kW.	Obrigatória para todas as potências, como elemento chave na faturação.
Processo de licenciamento	Processo gerido via plataforma eletrónica. Para potências entre 200W e 1,5 kW, mera comunicação prévia. Registo + certificação de exploração para potências entre 1,5 kW e 1MW. Licença de produção + exploração para potências superiores a 1MW.	Processo gerido via plataforma eletrónica. Registo + certificação de exploração. Inspeções obrigatórias.
Outros aspectos	Não existe quota de atribuição.	Quota máxima de potência atribuída (p.e. 20 MW atribuídos por ano)

## 7.1 UPAC

O regime de autoconsumo destina-se essencialmente à produção de eletricidade com o objetivo de satisfazer as necessidades energéticas da própria instalação de consumo, com a possibilidade de ligação à RESP para venda do excedente de energia a 90% do preço de mercado.

Para a instalação de uma UPAC, o decreto lei veio simplificar as condições de acesso sendo apenas necessária uma mera comunicação prévia de exploração à Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) através do Sistema Eletrónico de Registo da UPAC e da UPP (SERUP) para potências entre os 200 W e 1,5 kW ou caso se trate de um sistema isolado. Para UPAC com potências inferiores a 200 W não é preciso qualquer comunicação prévia e com potências superiores a 1 MW é necessária uma licença de exploração e outra de produção.



### 7.1.1 Remuneração

Para instalações com potência superior a 1,5 kW e que se encontram ligadas à RESP, a injeção dos excedentes tem uma remuneração de acordo com a equação 7.1.

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} * OMIE_m * 0,9 \quad (7.1)$$

Onde,

$R_{UPAC,m}$  é a remuneração da eletricidade injetada na RESP no mês 'm', em €.

$E_{fornecida,m}$  é a energia injetada no mês 'm', em kWh.

$OMIE_m$  é o valor resultante da média aritmética simples dos preços do Operador de Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal, relativos ao mês 'm' em €/kWh.

### 7.1.2 Compensação

As UPAC com potência instalada superior a 1,5 kW e ligada à RESP, estão sujeitas ao pagamento de uma compensação mensal fixa durante os primeiros 10 anos após a obtenção do certificado de exploração. Esta compensação tem como objetivo recuperar parte dos custos decorrente de medidas de política energética, de sustentabilidade ou de interesse económico geral (CIEG) na tarifa de uso global do sistema e é calculada de acordo com a expressão.

$$C_{UPAC,m} = P_{UPAC} * V_{CIEG,t} * K_t \quad (7.2)$$

Onde,

$C_{UPAC,m}$  se refere à compensação a pagar no mês 'm' por cada kW de potência instalada.

$P_{UPAC}$  é o valor da potência instalada da UPAC.

$V_{CIEG,t}$  é o valor que permite recuperar os CIEG da respetiva UPAC, medido em € por kW, apurado no ano t, de acordo com a tabela 7.2 na página 49.

$K_t$  é o coeficiente de ponderação, entre os 0% e 50%, a aplicar ao  $V_{CIEG,t}$ , tendo em consideração a representatividade da potência total registada das UPAC no SEN, no ano t, como se pode verificar na tabela 7.3. [25]

Tabela 7.2: Valor associado à recuperação dos CIEG em 2016.

Nível de tensão/ Tipo de fornecimento	$V_{CIEG,2016}$ [€/kWh]/mês
AT	2,783
MT	3,521
BTE	4,525
BTN >20,7 kVA	4,010
BTN <20,7 kVA	7,390

Tabela 7.3: Valores do coeficiente de ponderação  $k_t$ . Fonte: DL 153/2014

Potência total instalada das UPAC/ Potência total instalada no SEN	k
>3%	50%
>1% e <3%	30%
<1%	0%

## 7.2 UPP

A unidade de pequena produção (UPP) injeta toda a potência produzida na RESP e a sua potência de ligação tem de ser inferior à potência contratada na instalação de consumo nunca ultrapassando os 250kW e a energia produzida não pode exceder o dobro da eletricidade consumida na mesma instalação.

### 7.2.1 Remuneração

A sua remuneração é feita através de uma tarifa atribuída com base num modelo de licitação, no qual os concorrentes oferecem descontos à tarifa de referência, a qual é estabelecida mediante portaria do membro do Governo responsável pela área da energia. A tarifa de remuneração varia consoante o tipo de energia primária utilizada, sendo determinada mediante a aplicação das percentagens apresentadas na tabela 7.4 da página 50 e o seu valor vigora por um período de 15 anos, não podendo os produtores optar por aderir a outro regime durante este período. A portaria 15/2015 estabeleceu como valor para a taxa de referência € 95/MWh ao qual acresce o montante de € 10/MWh e de € 5/MWh caso o produtor além da UPP, instale no local de consumo uma tomada elétrica para o carregamento de veículos elétricos, ou seja proprietário ou locatário de um veículo elétricos, ou instale coletores térmicos com um mínimo de  $2m^2$  de área útil de coletor ou de caldeira a biomassa com produção anual de energia térmica equivalente. [24] [26]

Após o término dos 15 anos, o produtor entra no regime geral de produção em regime especial.

Tabela 7.4: Tarifa de referência por energia primária utilizada.

% sobre a tarifa de referência	
Solar	100%
Biomassa	90%
Biogás	90%
Eólica	70%
Hídrica	60%

## 7.3 Taxas

Para os pedidos de registo das unidades de produção (UP), alterações ou inspeções periódicas, o Governo define os montantes a pagar pelos produtores. O valor das taxas pode ser atualizado anualmente, sendo os atuais definidos pela Portaria 14/2015. [27]

- Taxa para registo da UPP e da UPAC com injeção na rede:
  - Com potência instalada até 1,5 kW - € 30;
  - Com potência instalada de 1,5 kW a 5 kW - € 100;
  - Com potência instalada de 5 kW a 100 kW - € 250;
  - Com potência instalada de 100 kW a 250 kW - € 500;
  - Com potência instalada de 25 kW a 1MW - € 750.
- Taxa para registo da UPAC sem injeção de potência na rede:
  - Com potência instalada de 1,5 kW a 5 kW - € 70;
  - Com potência instalada de 5 kW a 100 kW - € 175;
  - Com potência instalada de 100 kW a 250 kW - € 300;
  - Com potência instalada de 25 kW a 1MW - € 500.
- Taxa de reinspeção - 30% do valor da taxa aplicável ao registo;
- Taxa de inspeção periódica - 20% do valor da taxa aplicável ao registo;
- Taxa para averbamento de alteração ao registo que não careça de certificado de exploração de UP sem injeção de potência na rede - 20% do valor da taxa aplicável ao registo;
- Taxa para averbamento de alteração ao registo que careça de certificado de exploração de UP com injeção de potência na rede - 40% do valor da taxa aplicável ao registo.

## 7.4 Fiscalização

A DGEG ou técnicos especializados solicitados por esta podem fiscalizar as UP com a finalidade de verificar a conformidade das mesmas com o disposto no Decreto-Lei 153/2014 e com o Regulamento Técnico e de Qualidade. As UP com uma potência instalada superior a 1,5 kW são sujeitas a inspeções periódicas, de 10 em 10 anos quando a potência é inferior a 1 MW e de 6 em 6 anos nos restantes casos.



## Capítulo 8

### Caso de Estudo

Neste capítulo dá-se início à avaliação do edifício em causa, analisando as informações obtidas e aplicando os conhecimentos adquiridos, começando pela identificação e caracterização dos edifícios que compõem a escola.

Irão ser apresentados apenas alguns exemplos das propostas que visam melhorar a eficiência energética numa tentativa de não alongar em demasia este documento. No entanto, todos os cálculos e propostas de alterações estarão anexadas para uma consulta de informação mais detalhada.

#### 8.1 Identificação e Caracterização do Edifício

O caso de estudo desta dissertação é a Escola Secundária da Maia. Alvo de intervenção por parte da Parque Escolar, na segunda fase do Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário, ondem foram construídos edifícios novos e aproveitado parte do Liceu Brandão já existente.

A escola tem uma tipologia pavilhonar e é composta por 3 blocos de dois pisos com salas de aula e laboratórios, dois blocos com um só piso de oficinas, um bloco para a área desportiva, com os balneários e dois gimnodesportivos, um bloco de dois pisos com a área administrativa e de docentes e um último bloco composto pela cantina, biblioteca, polivalente e auditório.

Começando pelo bloco A, podemos observar nas tabelas, tabela 8.1 e tabela 8.2, a sua composição nos dois pisos, estando dedicado à componente administrativa da escola, como por exemplo a direção, a sala de convívio dos professores e a secretaria.

Tabela 8.1: Caracterização do Bloco A, piso 1

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	A101	9
Salas de Reunião	2	A102 e A103	
Gabinetes de Professores	6	A104 a A109	
Circulação	1	A110	23

Tabela 8.2: Caracterização do Bloco A, piso 0

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	a001	19
Átrio	1	a002	267
Área técnica	1	a002a	7
Circulação	1	a003	56
Circulação	1	a004	14
Circulação	1	a005	12
Circulação	1	a006	4
Circulação	1	a007	10
Circulação	1	a008	23
I.S. Masc.	1	a009	5
I.S. Fem.	1	a010	9
I.S. Fem.	1	a011	6
I.S. Masc.	1	a012	6
Arquivo	1	a013	12
Gab. Ass. Pais	1	a014	11
SASE	1	a015	6
Secretaria	1	a016	81
Contabilidade	1	a017	11
Chefia	1	a018	11
Gab. Diretor	1	a019	12
Sala da Direção	1	a020	36
Secret. Dir.	1	a021	11
Atendimento	3	a022 a a024	25
Diretores Turma	1	a025	29
Psicólogo	1	a026	11
Sala Reuniões	1	a027	34
Gab Prof	1	a028	17
Sala Conv. Prof.	1	a029	86
Portaria	1	a030	12

O bloco B possui dois pisos onde se situam o restaurante/bar, auditórios, biblioteca, associação de estudantes e a reprografia, como se pode observar na tabela 8.3 e na tabela 8.4.

Tabela 8.3: Caracterização do bloco B, piso 0

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	b001	20
Circulação	1	b002	155
Circulação	1	b003	13
Circulação	1	b004	5
Biblioteca	1	b005	302
Auditório	1	b006	114
Arrumos	1	b006a	17
Gabinete	1	b007	14
Arquivo	1	b008	70
Arrumos	1	b008a	25
I.S. Fem.	1	b009	15
I.S. Masc.	1	b010	18
I.S. Def.	1	b011	6
Área técnica	1	b013	8
Área técnica	1	b014	64
Circulação	1	b015	9
Pátio coberto	1	b016	32
Pátio coberto	1	b017	12
Circulação	1	b018	29
Circulação	1	b018a	33

Tabela 8.4: Caracterização do bloco B, piso -1

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	b-101	19
Circulação	1	b-102	100
Circulação	1	b-103	32
Circulação	1	b-104	7
Circulação	1	b-105	6
Dispensador Alimentos	1	b-106	4
Ass. Estudantes	1	b-107	26
I.S. Fem.	1	b-108	3
I.S. Masc.	1	b-109	21
Reprografia	1	b-110	54
Arrumos Loja	1	b-112	6
Restaurante/ bar	1	b-114	336
Self-service	1	b-115	60
Confeção	1	b-116	23
Lavagem	1	b-117	12
Prep. Carne	1	b-118	6
Prep. Peixe	1	b-119	6
Prep- Legumes	1	b-120	6
Lixos	1	b-121	7
Armazém	1	b-122	20
Sala Descanso	1	b-123	12
Arrumo Limpeza	1	b-124	6
Copa	1	b-125	8
Arrecadação	1	b-126	3
Circulação	1	b-127	26
I.S. Masc.	1	b-128	8
I.S. Fem.	1	b-129	8
Entrada Funcionários	1	b-130	8
Recreio Coberto	1	b-131	113

O bloco C é constituído maioritariamente por salas de aula.

Tabela 8.5: Caracterização do bloco C, piso 1

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	c101	25
Circulação	1	c102	151
Circulação	1	c103	5
Sala de Aula	11	c104 a c114	516
I.S. Fem.	1	c115	11
I.S. Masc.	1	c116	6



Tabela 8.6: Caracterização do bloco C, piso 0

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	c001	24
Circulação	1	c002	155
Circulação	1	c003	19
Circulação	1	c004	2
Sala de Desenho	4	c005 a c008	312
Oficina Artes	1	c009	104
Sala de Desenho	1	c010	52
Lab. Foto	1	c011	18
Arrumos Artes	1	c012	21
Área técnica	1	c013	12
Sala Multimédia	1	c014	52

Tabela 8.7: Caracterização do bloco C, piso -1

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	c-101	25
Circulação	1	c-102	21
Arrumos	1	c-103	18

Tabela 8.8: Caracterização do bloco D, piso 1

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	d101	29
Circulação	1	d102	41
Circulação	1	d103	5
Circulação	1	d104	150
Circulação	1	d105	6
Oficina Informática/ TIC	7	d106 a d112	361
Sala de Aula	4	d113 a d116	207
S. Coordenador TIC	1	d117	14
Arrecadação	1	d118	12
Arrecadação Informática	1	d119	13

Tabela 8.9: Caracterização do bloco D, piso 0

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	d001	29
Circulação	1	d002	268
Circulação	1	d003	155
Circulação	1	d004	5
Laboratórios	6	d005 a d010	468
Sala de Preparação	1	d011	26
Sala de Preparação	2	d012 e d013	103
Câmara Escura	1	d014	17

Tabela 8.10: Caracterização do bloco D, piso -1

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	d-101	29
Circulação	1	d-102	5
Circulação	1	d-103	24
Circulação	1	d-104	6
Circulação	1	d-105	10
Sala Pessoal	1	d-106	16
Copa	1	d-107	12
Balneário Fem.	1	d-108	8
Balneário Masc.	1	d-109	9
I.S. Fem.	1	d-110	51
I.S. Masc.	1	d-111	42
I.S. Def.	1	d-112	5
Arrumo	1	d-113	5
Área técnica	1	d-114	46
Arquivo Geral	1	d-115	73
Pátio	1	d-116	41

Tabela 8.11: Caracterização do bloco E, piso -1

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	e-101	139
Sala de Aula	8	e-102 a e-109	440
I.S. Fem.	1	e-110	15
Arrumos	1	e-111	14

Tabela 8.12: Caracterização do bloco E, piso -2

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	e-201	218
Circulação	1	e-202	4
Sala de Aula	8	e-203 a e-210	454
I.S. Masc.	1	e-211	15
Área técnica	1	e-212	10

Tabela 8.13: Caracterização do bloco F, piso -1

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	f-101	110
Circulação	1	f-102	5
Oficina de Mecânica	1	f-103	232
Sala de Aula	2	f-104 e f-105	95
Oficina Cerâmica	1	f-106	38
Oficina Serigrafia	1	f-107	79
Gab. Prof.	1	f-108	17
I.S. Masc.	1	f-110	11
I.S. Fem.	1	f-111	7
Arrecadação	1	f-113	4
Câmara Escura	1	f-114	8
Área técnica	1	f-115	7
Balneários/ Vestiários	1	f-116	4
Sala de Metrologia	1	f-117	8
Ferramentaria	1	f-119	24
Sala de Pneumática e Hidráulica	1	f-120	23
Armazém de Mat. Primas	1	f-121	25
Soldadura	1	f-122	23
Sala de CNC	1	f-123	25
Sala de Aula (AutoCAD)	1	f-124	49
Soldadura	1	f-125	2
I.S.	1	f-126	3
Circulação	1	f-127	2

Tabela 8.14: Caracterização do bloco G, piso -1

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	g-103	4
I.S. Fem.	1	g-103	8
Circulação	1	g-104	138
Sala de Aula	2	g-104 e g-105	94
Laboratório de Eletrônica	1	g-106	48
Arrumo	1	g-107	25
Palco	1	g-108	39
Oficina de Expressões	1	g-109	147
Oficina de Eletricidade	1	g-110	110
Laboratório de Máquinas	1	g-111	48
Vestiários	1	g-112	27
I.S. Masc.	1	g-114	11
Arrecadação Mat. Ext.	1	g-115	23
Arrumo	1	g-117	24
Arrumo	1	g-118	18
Oficina Circuitos Impressos	1	g-119	17
Arrumo	1	g-120	3
Arrumo	1	g-120	35
Gab. Prof.	1	g-121	23

Tabela 8.15: Caracterização do bloco H, piso 0

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	h001	58
Circulação	1	h002	122
Circulação	1	h003	18
Circulação	1	h004	7
Gimnodesportivo	2	h005 e h021	366
Campos de jogos coberto	1	h006	967
Área técnica	1	h006a	32
Sala de Aula	1	h007	52
Gab. Médico	1	h008	13
Balneário I.S. Def.	1	h009	9
Balneário Prof.	2	h010 e h011	19
Gab. Prof.	1	h012	22
Balneários Alunos 1m/T	2	h013 e h018	74
Balneários Alunos 2m/T	4	H014 a h017	245
Área técnica	1	h019	14
Arrumos	1	h020	37

Tabela 8.16: Caracterização do bloco I, piso -3

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
Circulação	1	i-301	20
Lixos	1	i-302	84
PT	1	i-303	36
PTD - EDP	1	i-303a	18
PRM	1	i-304	5
Quadros	1	i-305	18
Grupo Gerador	1	i-306	20
Sala Fotovoltaicos	1	i-307	20
Cisternas e bombas	1	i-308	113
Contador Água	1	i-309	2

Tabela 8.17: Caracterização do bloco J, piso 0

Tipo	Quantidade	Designação	Área [ $m^2$ ]
I.S.	1	j001	3
Ass. Pais	1	j002	36
Oficina de Manutenção	1	j-103	26
Área técnica	1	j-104	2

## 8.2 Fatura Energética

Neste ponto é analisada a faturação energética da escola e tem como objetivo verificar se esta é a mais indicada ou não comparando os valores pagos até ao momento com os preços faturados por outros comercializadores.

Atualmente o comercializador da Escola Secundária da Maia é a EDP Comercial, com um contrato de Ciclo Semanal com Feriados e é alimentada em MT. Tem uma potência contratada de 206 kW e uma potência instalada de 630 kVA.

O valor a pagar de energia é calculado multiplicando o consumo pelo preço do kWh para o período em questão (super vazio, vazio normal, cheia, ponta). Além destes períodos horários, a EDP divide os 12 meses do ano em quatro períodos trimestrais:

- Período I: janeiro, fevereiro e março;
- Período II: abril, maio e junho;
- Período III: julho, agosto e setembro;
- Período IV: outubro, novembro e dezembro.

As faturas disponibilizadas pela escola são referentes a um período compreendido entre dezembro de 2015 e setembro de 2016, perfazendo 10 meses de faturação. Para efeitos de comparação, só se teve em consideração estes meses, a faturação da energia e dos encargos de potência.

Podemos então observar na seguinte imagem 8.1 os consumos da escola neste período e observamos que o mês com menor consumo é Agosto, que coincide com as férias dos alunos e com as férias da secretária e dos docentes, e que Dezembro, apesar de ser o mês mais frio e com menos luz natural, também tem menor consumo devido às férias escolares.

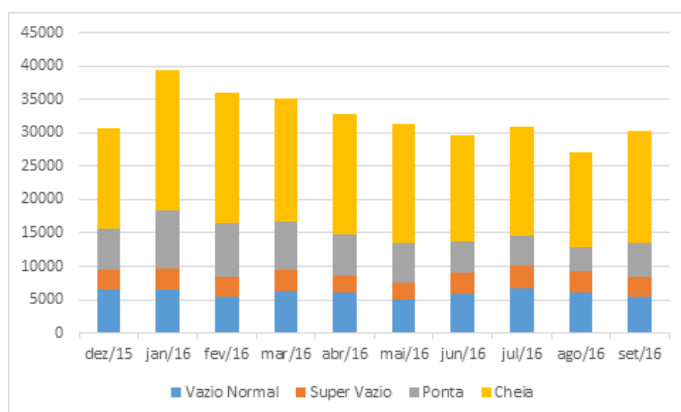


Figura 8.1: Consumo de energia ativa da escola.

A grande parte do consumo é feito no período de Cheia e de Ponta que ambos coincidem com o horário de funcionamento da escola, enquanto a energia consumida durante o Vazio Normal e o Super Vazio corresponde ao funcionamento de equipamentos fora das horas cheias que nunca são desligados.

Para comparar com o atual contrato de fornecimento de energia e recorrendo ao consumo de energia registados nestes 10 meses, foram calculados os novos valores a pagar através das tarifas disponibilizadas pelos diferentes comercializadores.

A EDP Universal disponibiliza na internet os seus tarifários para curtas, médias e longas utilizações e podemos consultar os resultados na figura 8.2, relativo à média tensão.

		EDP					
		Longas utilizações			Médias utilizações		
Período	Energia Ativa	Preço Un.	Quantidade	Total	Preço Un.	Quantidade	Total
I e IV	Ponta	0,1368 €	30232	4 135,74 €	0,1429 €	30232	4 320,15 €
	Cheias	0,1074 €	74103	7 958,66 €	0,1108 €	74103	8 210,61 €
	Vazio Normal	0,0757 €	24556	1 858,89 €	0,0770 €	24556	1 890,81 €
	Super Vazio	0,0646 €	12459	804,85 €	0,0657 €	12459	818,56 €
II e III	Ponta	0,1397 €	30027	4 194,77 €	0,1487 €	30027	4 465,01 €
	Cheias	0,1096 €	99232	10 875,83 €	0,1108 €	99232	10 994,91 €
	Vazio Normal	0,0784 €	35176	2 757,80 €	0,0808 €	35176	2 842,22 €
	Super Vazio	0,0720 €	17881	1 287,43 €	0,0720 €	17881	1 287,43 €
Energia Reativa							
Indutiva		0,0277 €	354,107	9,8088 €	0,0277 €	354,107	9,8088 €
Capacitiva		0,0208 €	21	0,4368 €	0,0208 €	21	0,4368 €
Encargos de potência							
Horas de ponta		10,1570 €	768,4551	7 805,1985 €	10,2360 €	768,4551	7 865,9064 €
Contratada/mês		1,5520 €	206	3 197,1200 €	1,4610 €	206	3 009,6600 €
Total				44 886,53 €			45 715,52 €
							53 484,12 €

Figura 8.2: Tarifas da EDP Universal.

Facilmente se verifica que a tarifa da EDP Universal de longa utilizações é a mais em conta comparativamente às restantes do mesmo comercializador. Foram calculados também os valores a pagar com as tarifas da Fenosa, Iberdrola e Endesa, que se podem consultar na imagem 8.3.

	Fenosa			Iberdrola			Endesa		
Energia Ativa	Preço Un.	Quantidade	Total	Preço Un.	Quantidade	Total	Preço Un.	Quantidade	Total
Ponta	0,101752 €	60259	6 131,47 €	0,09990 €	60259	6 019,87 €	0,1044 €	60259	6 291,04 €
Cheias	0,09395 €	173335	16 284,82 €	0,09300 €	173335	16 120,16 €	0,0926 €	173335	16 050,82 €
Vazio Normal	0,07035 €	59732	4 202,15 €	0,06960 €	59732	4 157,35 €	0,0684 €	59732	4 085,67 €
Super Vazio	0,06530 €	30340	1 981,20 €	0,06380 €	30340	1 935,69 €	0,0626 €	30340	1 899,28 €
Energia Reativa									
Indutiva	0,0277 €	354,107	9,8088 €	0,0277 €	354,107	9,8088 €	0,0277 €	354,107	9,8088 €
Capacitiva	0,0208 €	21	0,4368 €	0,0208 €	21	0,4368 €	0,0208 €	21	0,4368 €
Encargos de potência	[kWh.dia]			[kWh.mês]			[kWh.mês]		
Horas de ponta	0,226915 €	768,4551	5 335,84 €	8,8350 €	768,4551	6 789,30 €	6,7890 €	768,4551	5 217,04 €
Contratada/mês	0,032121 €	206	2 024,78 €	1,0440 €	206	2 150,64 €	0,9600 €	206	1 977,60 €
		Total	35 970,51 €		Total	37 183,25 €		Total	35 531,70 €

Figura 8.3: Tarifas da Fenosa, Iberdrola e Endesa.

Comparando os tarifários da EDP Universal com estes últimos de três empresas diferentes podemos verificar que o melhor é o da Endesa.

Podemos então comparar estes valores com os valores obtidos das faturas, presentes na imagem 8.4 e verificar se a escola possui o melhor tarifário ou não.

		EDP - Tarifário atual		
Período	Energia Ativa	Preço Un.	Quantidade	Total
I e IV	Ponta	0,0615 €	30232	1 859,27 €
	Cheias	0,0591 €	74103	4 379,49 €
	Vazio Normal	0,0493 €	24556	1 210,61 €
	Super Vazio	0,0488 €	12459	608,00 €
II e III	Ponta	0,0654 €	30027	1 963,77 €
	Cheias	0,0629 €	99232	6 241,69 €
	Vazio Normal	0,0524 €	35176	1 843,22 €
	Super Vazio	0,0519 €	17881	928,02 €
Energia Reativa				
	Indutiva	0,0277 €	354,107	9,8088 €
	Capacitiva	0,0208 €	21	0,4368 €
Encargos de potência				
	Horas de ponta	6,9020 €	768,4551	5 303,8771 €
	Contratada/mês	0,9770 €	206	2 012,6200 €
	Total			26 360,81 €

Figura 8.4: Tarifas atual.

Após esta comparação podemos então concluir que o contrato que a escola mantém atualmente com a EDP Comercial é o mais proveitoso, não se justificando a sua alteração.

### 8.3 Iluminação

Os edifícios que compõem o caso de estudo foram renovados há pouco tempo e, por isso, possuem lâmpadas recentes sendo a sua grande maioria fluorescentes T5 de 28, 35 ou 49 W.

A utilização de sensores de presença é feita em todas as casas de banho e todos os balneários da escola e é utilizado um sensor crepuscular no átrio da entrada.

Recorrendo a várias visitas à escola e à consulta das plantas através do AutoCAD foi possível fazer o levantamento luminotécnico e o respetivo estudo.

O estudo luminotécnico consiste na avaliação da iluminação de um espaço tendo em conta a maximização do conforto do utilizador. Este conforto traduz-se em valores de iluminância média definidos pelo manual disponibilizado pela Parque Escolar [11], que se podem observar na tabela 8.18, na página 65, e que estão de acordo com a norma europeia EN 12646-1:2002 ("Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places"). [28]

Recorrendo ao software Dialux foi possível efetuar a simulação de todos os espaços da escola verificando se a iluminação está de acordo com o recomendado, considerando uma margem de 20%, tendo em conta que são valores recomendados.

O manual define também um conjunto de condições necessárias ao cálculo da iluminação interior. [11]

- Grau de reflexão:
  - Teto: 70%
  - Paredes: 50%
  - Solo: 20%
- Altura do plano de uso: 0,8 metros.
- Zona marginal: 0,4 metros.



Tabela 8.18: Valores recomendados de iluminância.

Designação do espaço	Nível médio de iluminância [Lux]
Sala de aula normal	300
Quadro do professor	500
Sala de aula normal com utilização noturna e para formação de adultos	500
Sala de aula TIC	300
Sala de desenho normal	500
Sala de desenho técnico	750
Salas de artes numa escola de artes	750
Oficina e laboratório (física, química, línguas, etc.)	500
Sala de preparação do laboratório	500
Educação tecnológica	500
Estúdio multimédia	300
Salas de apoio aos estudantes sem a presença de docentes	300
Área destinada a trabalho de docentes	500
Áreas destinadas ao ensino-aprendizagem informal	300
Áreas de atividades lectivas complementares ("clubes") e a exibição de trabalhos/conteúdos didáticos	200
Áreas administrativas, gabinetes de atendimentos ou não, salas de reuniões	500
Gabinete de psicologia; posto de primeiros socorros	500
Reprografia	300
Biblioteca/ Zona de prateleiras	200
Biblioteca/ Zona de leitura	500
Espaço polivalente	500
Auditório	500
Sala de exposições/ espaços museológicos	500
Ginásio	300
Polidesportivo coberto	EN 12193
Balnérios e casas de banho	200
Entrada/ receção	200
Zonas de circulação, corredores	100
Escadas	150
Loja de conveniência do estudante	300
Áreas sociais e de convívio	200
Arrecadações	100
Arquivo	200
Refeitório e cafetaria	200
Cozinha	500

Após os cálculos e, nos casos em que se verificou uma iluminância com um valor de 20% ou mais acima do recomendado, repetiu-se a simulação utilizando lâmpadas com menor potência, sem negligenciar a compatibilidade entre a lâmpada e a luminária, evitando deste modo a sua alteração. Para os casos em que se consiga com sucesso reduzir a potência da lâmpada, sem

prejudicar o conforto dos utilizadores do respetivo espaço, será apresentado um estudo económico que retrata a viabilidade financeira dessa alteração.

Nesse estudo é apresentado o investimento necessário a realizar para a alteração proposta, a poupança anual a ser gerada e o retorno do investimento, ou seja, o tempo necessário que a poupança gerada leva a amortizar o investimento feito.

A escola possui quase 300 salas pelo que serão apresentados apenas alguns exemplos estando os cálculos na íntegra em anexo.

### 8.3.1 Instalação Sanitária Feminina - a011 (Bloco A, piso 0)

De um total de quatro instalações sanitárias existentes no piso zero do bloco A, três são similares (a009, a011 e a012) pelo que se pode assumir que os valores de apenas um ambiente de simulação. Para este ambiente foi escolhida a instalação sanitária a011 porque é a que possui maior área, apenas que marginalmente, de  $6,06\text{ m}^2$ .

Estes espaços são constituídos apenas por uma lâmpada fluorescente de 49 W, tendo-se obtido uma iluminância média de 322 lux, 61% acima do valor recomendado para este tipo de instalações, de 200 lux, e obteve-se uma uniformidade de 0,56, como se pode observar nas linhas isográficas da figura 8.5, obtidas na simulação.

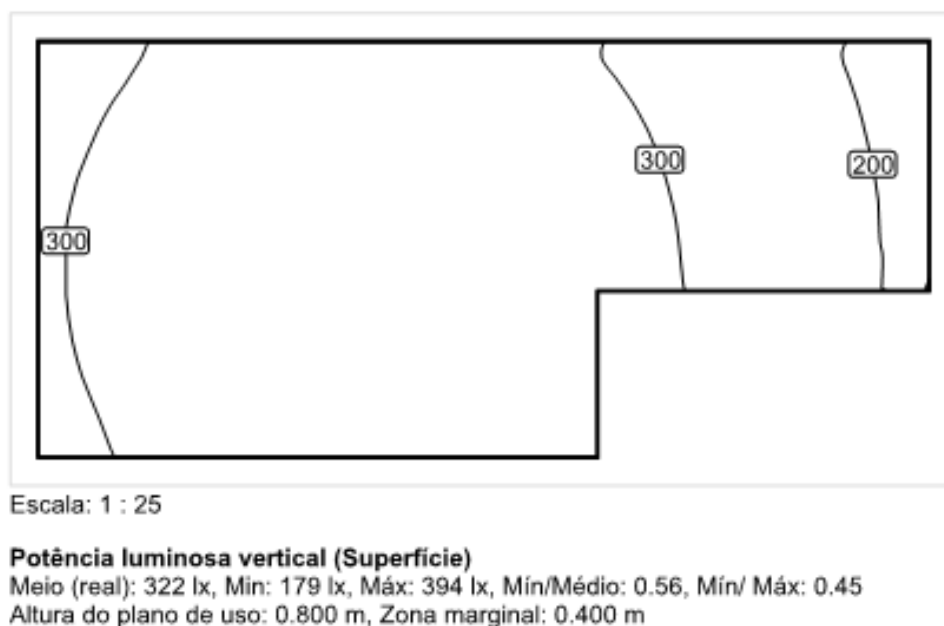


Figura 8.5: Simulação com lâmpadas de potência 49 W.

Optou-se então pela substituição da lâmpada de 49 W por uma de 35 W, que resultou numa iluminância de 247 lux, 23,5% acima do valor recomendado, com uma uniformidade de 0,55. Pode-se verificar o resultado obtido na figura 8.6.

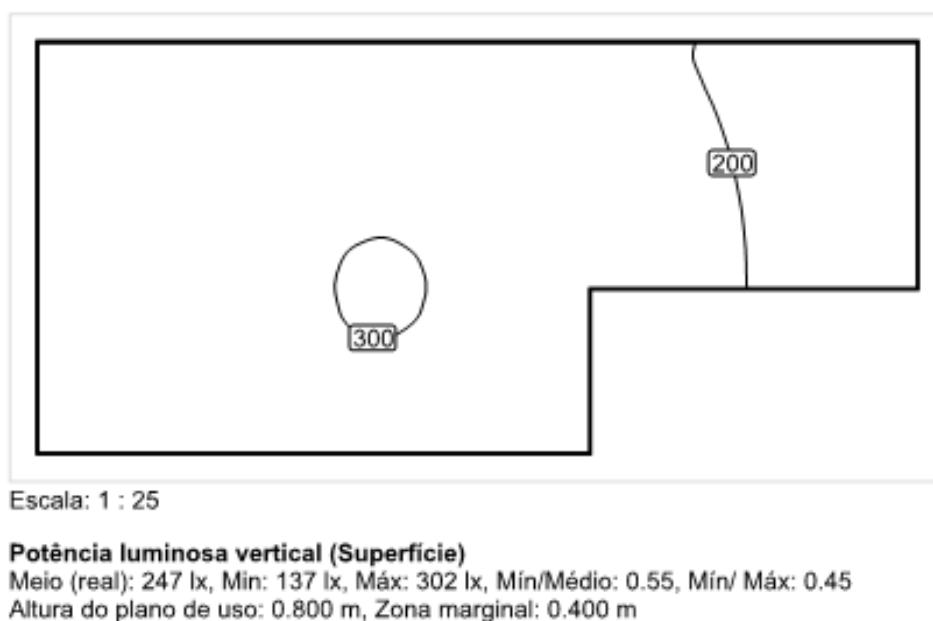


Figura 8.6: Simulação com lâmpadas de potência 35 W.

Apesar deste valor não ser ideal nem se situar dentro da margem de 20%, as lâmpadas com uma potência inferior a 35 W têm um comprimento de cerca de 1200 mm, inferior ao comprimento desta luminária, de cerca de 1500 mm.

Apesar deste promenor, conseguiu-se uma redução de potência na ordem dos 30% e uma aproximação da iluminação ao valor recomendado.

Todas as instalações sanitárias estão equipadas com sensor de presença pelo que é difícil prever o número de horas de utilização e quantificar com exatidão a poupança energética. Foi então considerado que este tipo de espaços tem uma utilização diária de cerca de 4 horas podendo-se calcular a poupança prevista e o retorno do investimento na tabela 8.19.

Tabela 8.19: Cálculo financeiro - a011

	Investimento [€]	Consumo Anual [kWh]	Custo Anual [€]	Poupança [€]	Retorno
Instalação Atual		49,59	3,08		
Proposta de Alteração	7,2	35,42	2,20	0,88	8,17 anos

Para o número de horas considerado o retorno é superior a 8 anos mas caso as lâmpadas sejam utilizadas com maior frequência este valor baixa melhorando a viabilidade do investimento em causa.

A melhor solução seria efetuar a troca para a lâmpada de menor potência no fim de vida da atual. Deste modo a aquisição de uma lâmpada de 35 W substituiria a compra da lâmpada de 49 W anulando desta forma a investimento necessário e gerar uma poupança efetiva no imediato.

### 8.3.2 Circulação - b -102 (Bloco B, piso -1)

Este corredor situa-se no piso -1 do bloco B, tem  $100,39 \text{ m}^2$  e está equipado com 6 lâmpadas fluorescentes T5 de 35 W.

Este corredor, como grande parte dos restantes presentes na escola secundária da Maia, possui circuitos separados de iluminação, estando um deles (circuito 1) ligado de forma contínua e o outro (circuito 2) ligado apenas durante os intervalos.

Nestes casos, foram feitas as simulações para cada um dos circuitos separadamente, como se estivesse apenas um circuito ligado de cada vez.

Assim sendo, o circuito 1 é composto por 4 das 6 lâmpadas, tendo-se obtido nas simulações uma iluminância de 141 lux, 41% acima do valor recomendado de 100 lux para zona de tráfego, como se pode observar na figura 8.7. O circuito 2 é composto pelas restantes duas lâmpadas, tendo-se calculado uma iluminância de 79 lux, 21% abaixo dos 100 lux, e pode-se observar na figura 8.8.

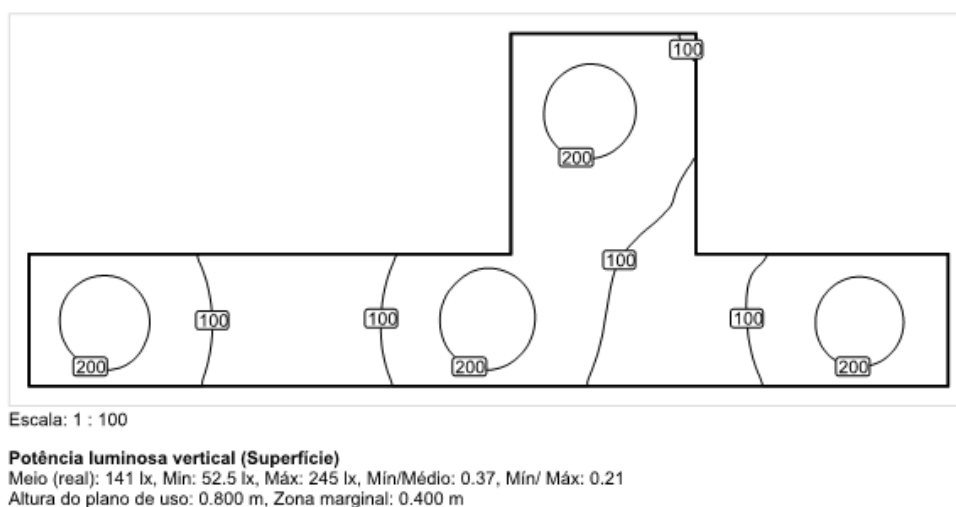


Figura 8.7: Simulação do circuito 1.

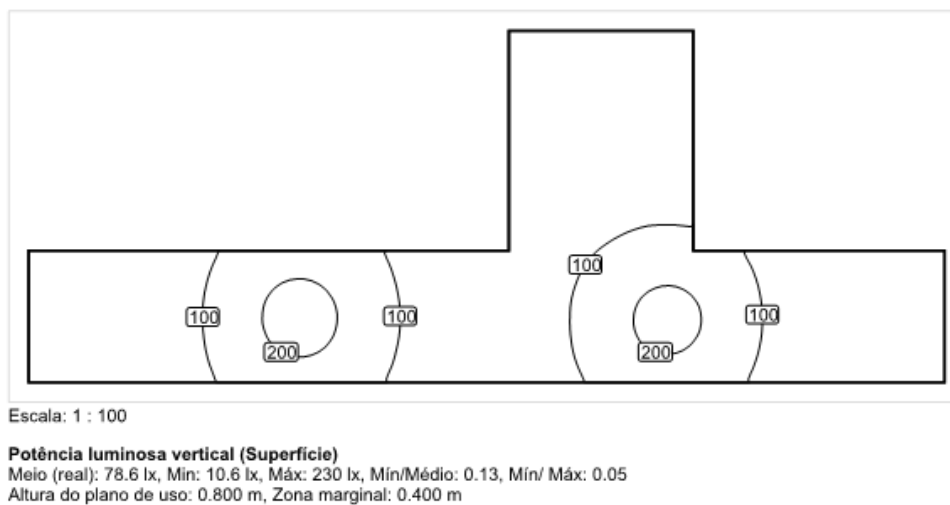


Figura 8.8: Simulação do circuito 2.

Apesar da iluminância média do primeiro circuito estar acima do valor recomendado, o valor da uniformidade é de 0,37 e deve-se situar próximo de 0,5.

foi então feita a simulação com os dois circuitos ligados, obtendo-se uma iluminância média de 222 lux com uma uniformidade de 0,47, valor que já se aproxima do que é pedido pelo Manual de Projeto. É possível consultar a simulação na figura 8.9.

As luminárias já se encontram com as lâmpadas de menor potência pelo que não é possível reduzir o consumo.

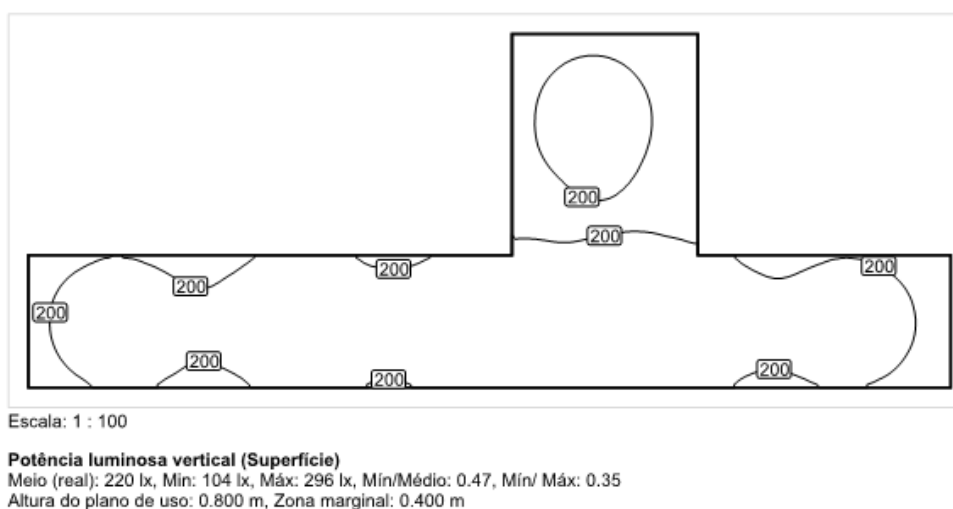


Figura 8.9: Simulação com ambos os circuito ativos.

### 8.3.3 Sala de aula

As salas de aula têm cerca de  $52\text{ m}^2$ , variando pouco de umas para as outras e estão equipadas com 9 lâmpadas fluorescentes T5 de 49 W cada.

Existem obrigatoriamente dois circuitos, um para as lâmpadas junto ao quadro do professor e outro para as restantes, mas as simulações foram efetuadas considerando os dois circuitos ativos assumindo que um deles poderá ser desligado esporadicamente para uma melhor visão do quadro.

Foi obtida uma iluminância média 28% acima do valor recomendado, cerca de 641 lux com uma uniformidade de 0,35, podendo estes resultados serem consultados através da figura 8.10.

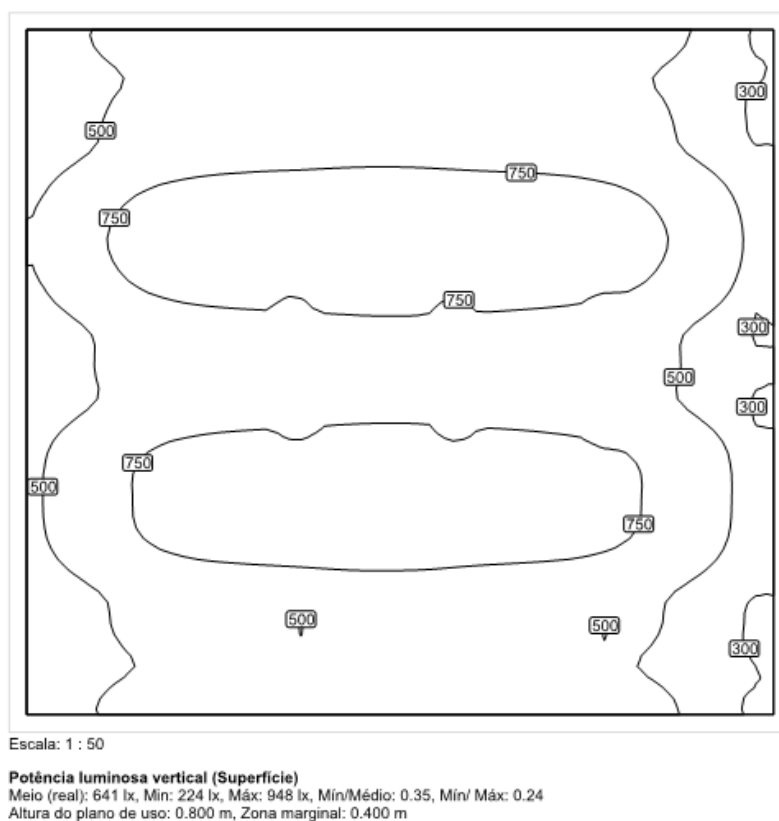


Figura 8.10: Simulação com ambos os circuitos e com lâmpadas de 49 W.

Efetuuou-se então nova simulação utilizando lâmpadas de 35 W e obteve-se uma iluminância média de 470 lux, valor que se situa dentro da margem estabelecida anteriormente de 20% do valor recomendado, com uma uniformidade de 0,35, como se pode verificar na figura 8.11.

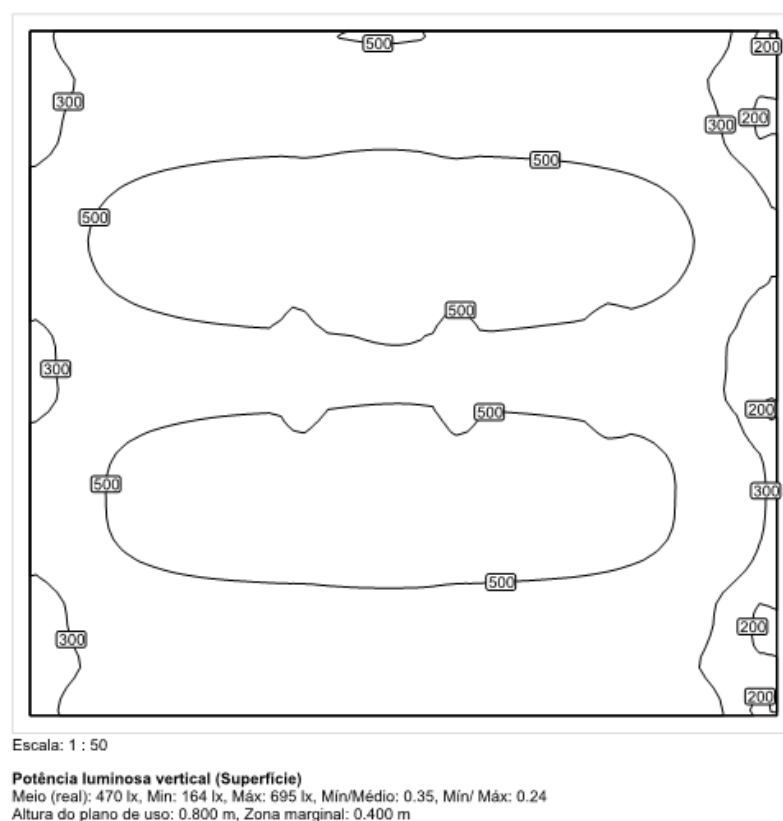


Figura 8.11: Simulação com ambos os circuitos e com lâmpadas de 35 W.

Esta alteração permite uma redução de potência utilizada e, por consequente uma redução no consumo, como se pode observar na tabela 8.20. Foi considerado que este espaço está em funcionamento 178 dias por ano, 9 horas por dia.

No cálculo financeiro foi considerada a totalidade das salas de aula, incluindo uma sala de desenho e uma sala multimédia que, pelas suas características foram consideradas equivalentes às salas de aula.

Tabela 8.20: Cálculo financeiro - Salas de Aula

	Investimento [€]	Consumo Anual [MWh]	Custo Anual [€]	Poupança [€]	Retorno
Instalação Atual		19,075	1 186,5		
Proposta de Alteração	1 749,6	13,62	847,47	339	5,16 anos

O investimento feito permite uma poupança anual nas salas todas de 339 € com um retorno do investimento ao fim de pouco mais de 5 anos.

#### 8.3.4 Arrumos - C -103 (Bloco C, piso -1)

São vários os espaços designados como arrumos ou áreas técnicas em que se pode proceder à redução de potência da lâmpada. O espaço C-103, atribuído como arrumos, é apresentado como

exemplo.

É um espaço com  $17,87 \text{ m}^2$  e equipado com duas lâmpadas fluorescentes T5 de 49 W de potência cada. A simulação revelou uma iluminância média de 187 lux, quase o dobro do valor recomendado, com uma uniformidade de 0,68, como se pode observar na figura 8.12

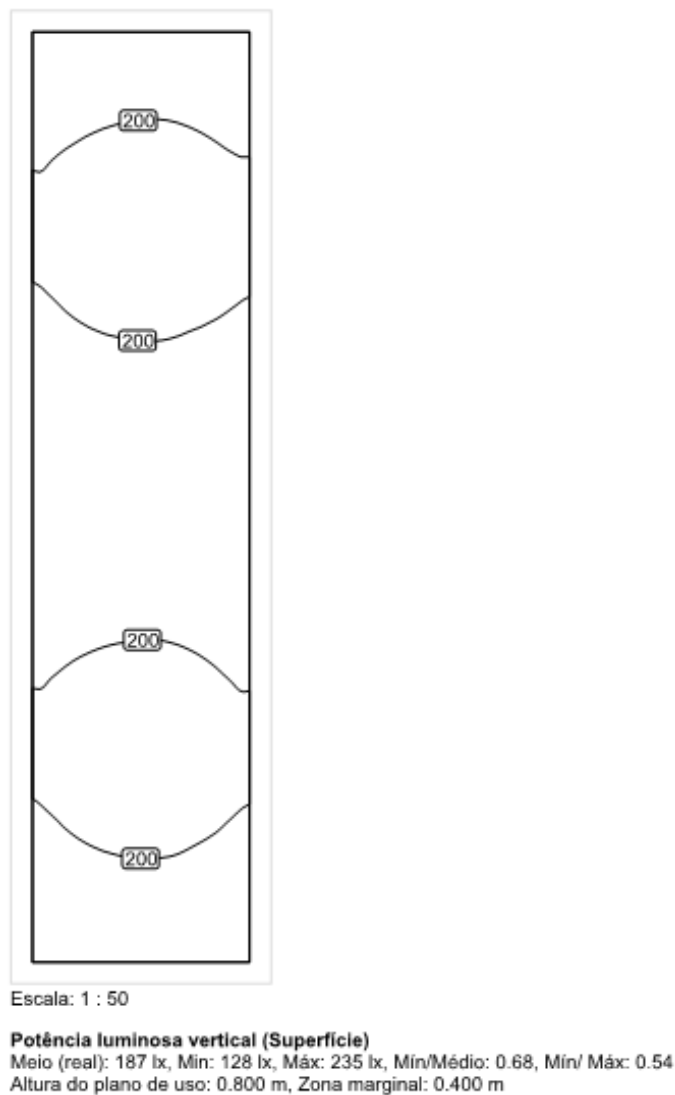


Figura 8.12: Simulação com lâmpadas de 49 W.

Substituindo as lâmpadas de potência 49 W por outras com 35 W de potência, obteve-se uma iluminância média de 136 lux com uma uniformidade de 0,7 permitindo uma poupança no consumo energética sem descurar a qualidade da iluminação.



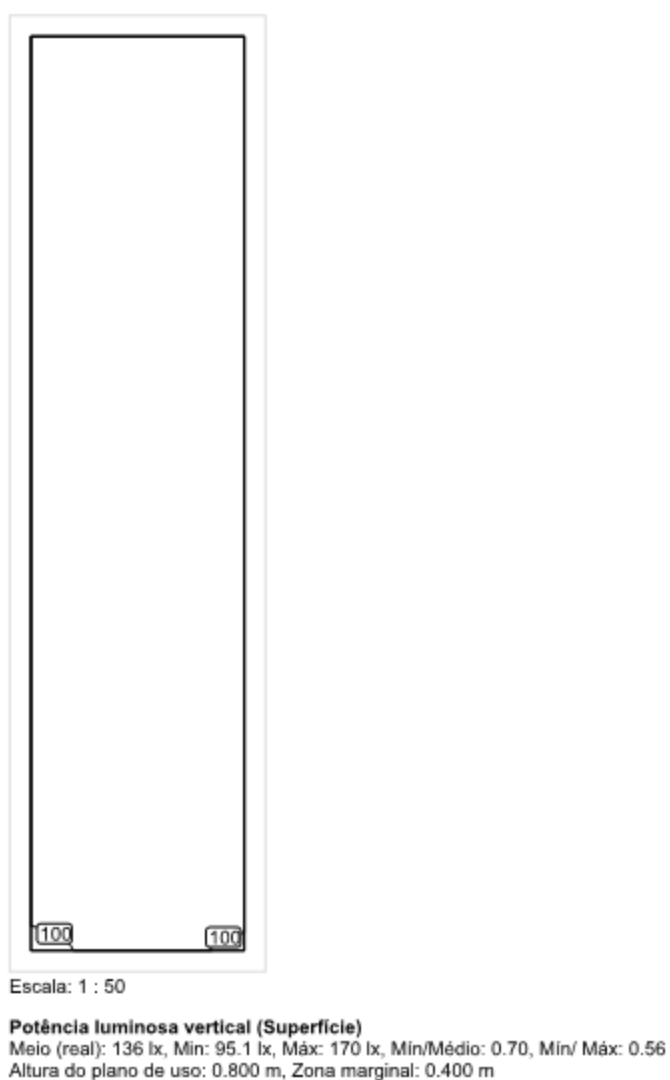


Figura 8.13: Simulação com lâmpadas de 35 W.

Devido à sua utilização mais pontual é difícil prever o número de horas que estas lâmpadas estão acesas durante o dia mas foram consideradas duas horas diárias para efeitos de cálculo financeiro, demonstrado na tabela 8.21.

Tabela 8.21: Cálculo financeiro - c-103

	Investimento [€]	Consumo Anual [kWh]	Custo Anual [€]	Poupança [€]	Retorno
Instalação Atual		49,59	3,08		
Proposta de Alteração	14,40	35,42	2,20	0,88	16,34 anos

Tendo considerado apenas duas horas por dia de utilização o retorno do investimento é elevado mas, efetuando a troca apenas quando as lâmpadas atuais deixarem de funcionar estaríamos a reduzir o investimento e consequentemente o seu retorno.

### 8.3.5 Circulação - d003 (Bloco B, piso 0)

Este corredor, que se situa no piso 0 do bloco D, à semelhança dos outros, possui dois circuitos separados tendo sido feitas as simulações com um circuito ativo de cada vez. O primeiro está equipado com 8 lâmpadas fluorescentes T5 de 35 W e tem uma iluminância média de 107 lux com uma uniformidade de 0,52, como se pode observar na figura 8.14.



Figura 8.14: Simulação com o circuito 1 ativo.

O segundo circuito possui 7 lâmpadas fluorescentes de 35 W de potência e uma iluminância média de 98 lux com uma uniformidade de 0,24 podendo-se observar na figura 8.15.



Figura 8.15: Simulação com o circuito 2 ativo.

Como já referido anteriormente, o circuito 1 está sempre ligado e o segundo apenas liga durante os intervalos o que, neste caso não seria necessário tendo em conta que apenas com o primeiro circuito se obtém os valores tanto de iluminância média como uniformidade dentro do recomendado.

Neste caso, sem a necessidade de qualquer tipo de investimento é possível obter uma poupança apenas ligando um dos circuitos.

### 8.3.6 Investimento total

De todos os espaços simulados, 217, são propostas alterações que envolvem a redução de potência das lâmpadas em 75 espaços.

Aplicando os cálculos efetuados nos exemplos dados a todas as propostas de alteração pode-se estimar o investimento necessário, a poupança anual e o retorno do investimento. Estes valores podem ser consultados na tabela 8.22.

Tabela 8.22: Cálculo financeiro para as propostas de iluminação

	Totalidades das propostas
Investimento Inicial	2 692,80 €
Poupança Anual	667,31 €
Retorno do investimento (aprox.)	4 anos

Este tipo de investimento pode ser feito de forma faseada instalando as lâmpadas novas apenas quando as antigas avariarem. Deste modo, anula-se o investimento porque o custo com a aquisição da lâmpadas de substituição serve para a aquisição da lâmpada proposta de menor potência.

## 8.4 Qualidade de Energia

Para a avaliação da qualidade de energia presente no edifício escolar em causa, foi instalado no QGBT um analisador de redes, HT GSC 53N, que permite a leitura e gravação dos seguintes parâmetros:

- Tensão nas três fases;
- Corrente nas três fases e no neutro;
- Potência ativa total e por fase;
- Potência reativa indutiva e capacitiva total e nas três fases;
- Potência aparente total e nas três fases;
- Fator de potência indutivo e capacitivo total e nas três fases;
- $\cos \varphi$  indutivo e capacitivo total e nas três fases;
- Harmónicos de tensão (THD e tensão até ao 7º harmónico);
- Harmónicos de corrente (THD e corrente até ao 7º harmónico).

A instalação deste equipamento de leitura foi realizada de acordo com a imagem 8.16.

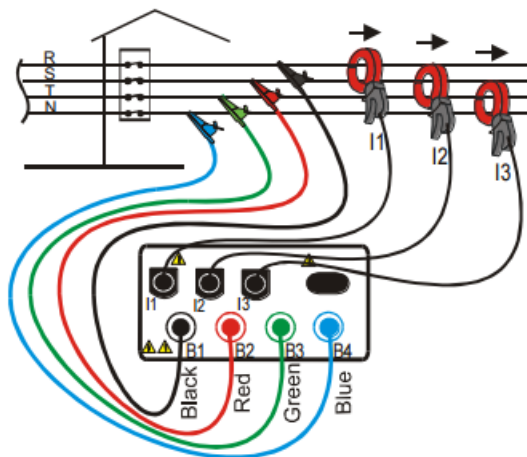


Figura 8.16: Esquema de ligação.

Recorrendo ao software Topview foi possível a extração e análise dos dados recolhidos.

A análise ao QGBT foi efetuada entre o dia 31 de Outubro e o dia 2 de Novembro, sendo possível observar a evolução do consumo durante um dia de trabalho normal, durante a noite e durante um dia sem atividades na escola, que corresponde ao feriado de dia 1 de Novembro.

O registo dos valores por parte do analisador de redes foi feito em intervalos de 15 minutos.



Figura 8.17: Ligação do analisador ao QGBT.

### 8.4.1 Equilíbrio da tensão e corrente

Através da análise dos dados fornecidos pelo analisador de redes podemos verificar se o sistema tem as tensões e as correntes nas fases equilibradas ou desequilibradas.

Os dados foram extraídos para o software Excel, o que permitiu uma mais fácil análise, obtendo-se o gráfico 8.18 com as tensões nas três fases.

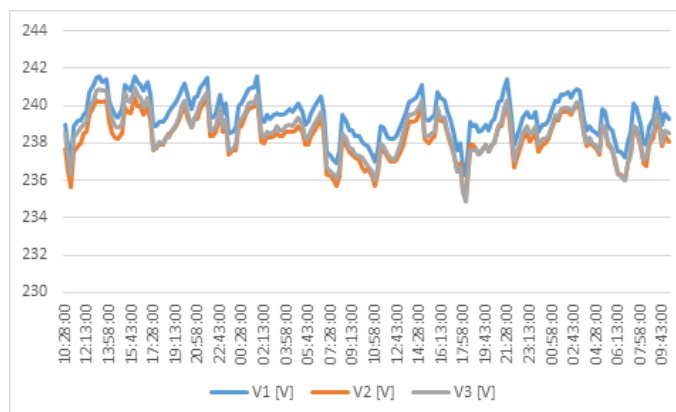


Figura 8.18: Tensão nas três fases.

Como se pode verificar, a variação da tensão entre as fases é muito reduzida não chegando a dois volts pelo que podemos considerar que o sistema se encontra com as tensões em equilíbrio.

Quanto às correntes nas três fases podemos observar o seguinte gráfico

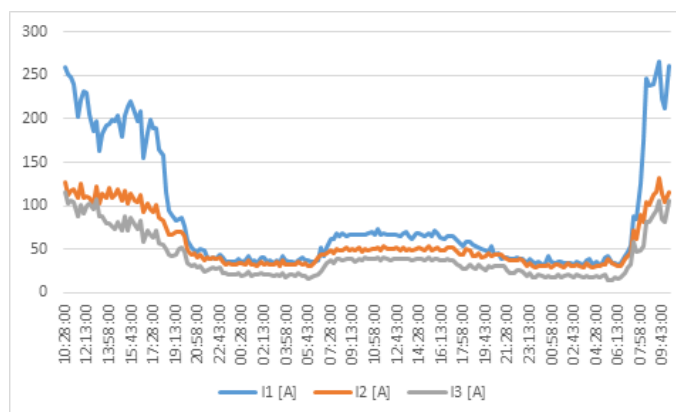


Figura 8.19: Corrente nas três fases.

Podemos ver que durante o dia normal de trabalho da escola temos a fase um bastante mais carregada que as restantes, chegando esta fase a ter uma intensidade de corrente que quase corresponde à soma das outras duas fases. Durante a noite estão mais ou menos equilibradas e durante o feriado a fase um aparece outra vez como a mais carregada não sendo tão expressiva a diferença.

Este desequilíbrio das cargas pelas fases provoca uma forte corrente no neutro como se pode verificar pela imagem, que corresponde aos valores da intensidade de corrente no neutro registados pelo analisador e que, é maior quando o desequilíbrio é também maior.

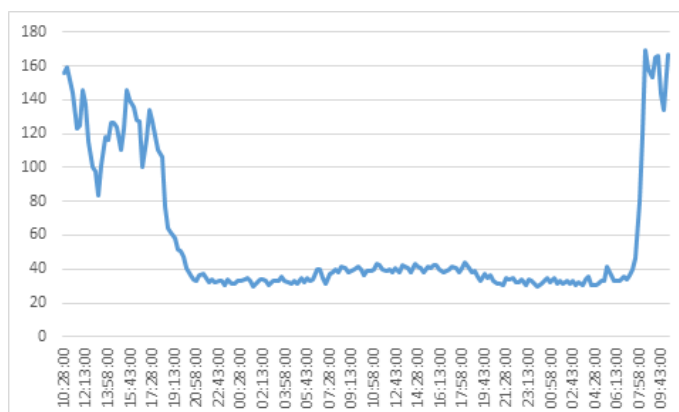


Figura 8.20: Corrente no neutro.

A correção desta medida requer uma análise mais detalhada da rede elétrica da escola de modo a se perceber se este desequilíbrio é comum a todos os edifícios ou não e o quais as cargas que o provocam. É também necessário o estudo do projeto de eletricidade da escola de modo a perceber que se é possível com alguma facilidade desligar algumas cargas da fase 1 para as ligar às outras duas fases.

#### 8.4.2 Fator de potência

O fator de potência foi calculado no software Excel e são apresentados na imagem 8.21 os valores para um dia normal de trabalho e na imagem 8.23 para o feriado.

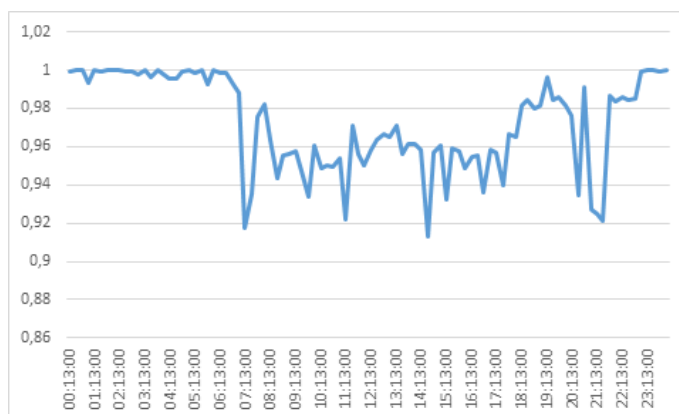


Figura 8.21: Fator de potência num dia útil.

Podemos observar que durante o dia útil há grandes variações do fator de potência e que coincide com o horário de trabalho dos edifícios, provocados pelo ligar e desligar de equipamentos (AVAC, iluminação, computadores) e dos escalões da bateria de condensadores.

Esta bateria, na imagem 8.22 e que se encontra instalado junto ao QGBT, tem 100 kVAr de potência nominal, distribuída por 5 escalões (10+10+20+20+40).



Figura 8.22: Bateria de Condensadores.

Na imagem 8.23 referente ao feriado, o fator de potência sofre pequenas alterações durante todo o dia à exceção de um pico ao início da manhã que coincidirá com o arranque dos equipamentos AVAC.

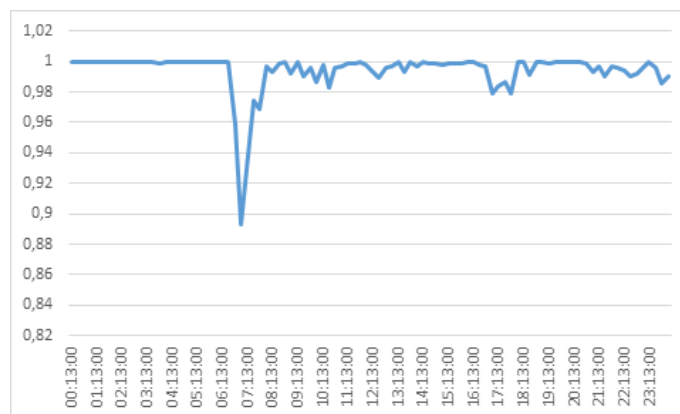


Figura 8.23: Fator de potência no feriado.

Como a faturação da energia reativa é feita tendo por base a  $\tan\phi$  e não o fator de potência, calculou-se esse valor que nos mostra a energia reativa em função da energia ativa estando os resultados apresentados na imagem 8.24 referente ao dia útil e na imagem 8.25 referente ao feriado.

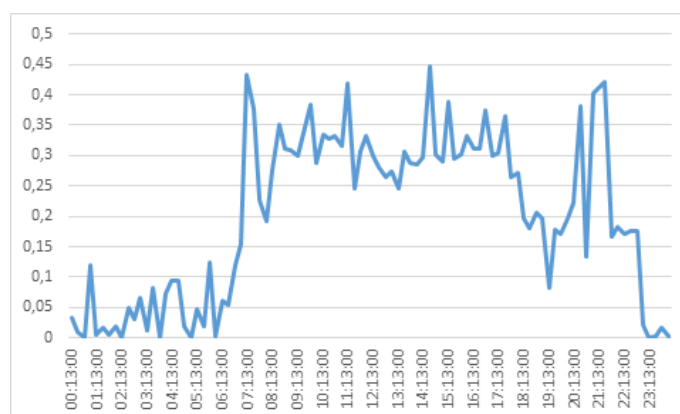


Figura 8.24:  $\tan\phi$  durante o dia útil.



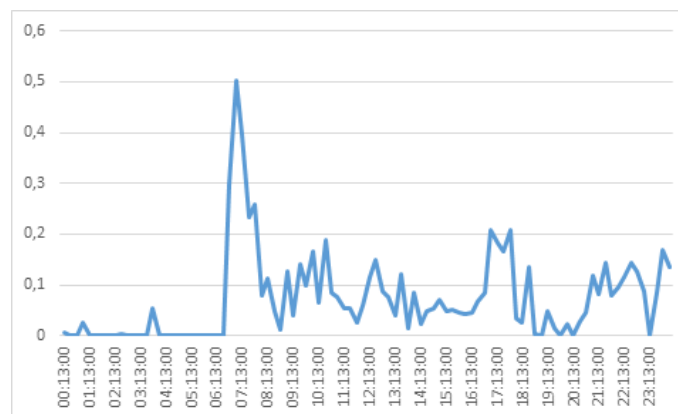


Figura 8.25: Tan  $\varphi$  durante o feriado.

Como já referido no capítulo 5, a faturação é feita quando a tan  $\varphi$  excede os 0,3 e, como se pode observar nas imagens, num dia útil esse valor é ultrapassado com alguma frequência mas raramente ultrapassa os 0,4 pelo que a faturação da energia reativa mantém o fator multiplicativo em 1/3. Durante o feriado, nunca é ultrapassada a fasquia dos 0,3 à exceção do início da manhã que ultrapassa os 0,5 que se vai traduzir num fator multiplicativo de 3 na faturação.

A análise feita ao consumo de energia reativa permitiu perceber que a bateria de condensadores instalada na escola não chega a funcionar a 100%, nunca sendo necessário injetar mais do que 100 kVAr na rede. Contudo, é possível melhorar o fator de potência da rede se os escalões que compõem a bateria fossem de menor potência. Um maior número de escalões de menor potência cada iria permitir menores incrementos na injeção de energia reativa mantendo o fator de potência com menores variações.

### 8.4.3 Poluição harmónica

O capítulo 5 explica que a existência de diversos tipos de equipamentos, como por exemplo as lâmpadas fluorescentes ou os computadores, contribui para a degradação da qualidade de energia elétrica presente na rede em questão, introduzindo deformações nas formas de onda da tensão e corrente.

Com a ajuda do analisador de redes e respetivo software foi possível avaliar o conteúdo harmónico da rede e verificar se a instalação está de acordo com as normas.

Começando pela forma de onda da tensão, a norma EN 50160, que regula os valores de desvio das suas características, utiliza como indicador principal a taxa de distorção harmónica (THD).

Os valores obtidos durante a análise ao QGBT, presentes no gráfico da imagem 8.26, permitem concluir que durante os dias de forte utilização da rede como nos dias com menos carga a THD não ultrapassa os 4% em nenhuma das fases, respeitando os valores normalizados.

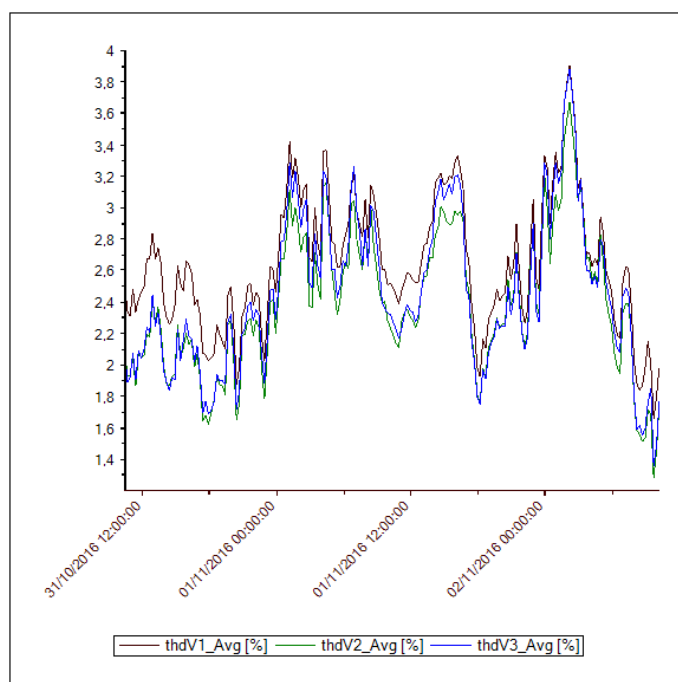


Figura 8.26: THD no QGBT.

No que respeita aos harmónicos de corrente, os valores registados pelo analisador estão em Ampere por isso procedeu-se ao seu tratamento de modo a poderem ser apresentados em percentagem.

Na figura 8.27 podemos observar o 3º, 5º e 7º harmónico de corrente correspondentes à fase 1, podendo-se verificar que o 5º harmónico se encontra quase sempre abaixo dos 10%, o 7º mantém-se perto dos 10% em dias úteis e o 3º harmónico, nos dias em que a escola se encontra em pleno funcionamento, se encontra entre os 20% e os 25%, valor que é bastante elevado.

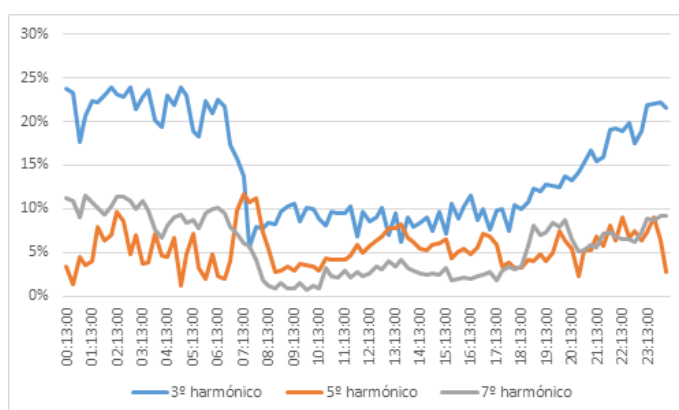


Figura 8.27: Harmónicos de corrente na fase 1.

Na figura 8.28, temos os harmónicos de corrente da fase 2 da qual podemos tirar praticamente as mesmas conclusões que a imagem anterior, o 3º harmónico com valores bastante elevados, à

volta das 25%, o 5º harmónico a oscilar entre os 5% e os 10% observando-se uma subida durante o feriado, e o 7º harmónico a situar-se perto dos 10% baixando nos dias em que a escola se encontra encerrada.

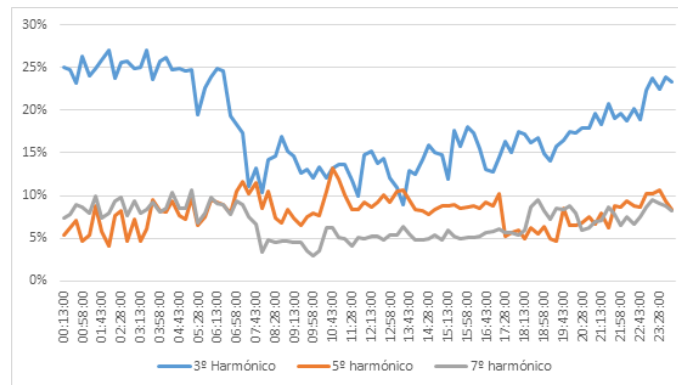


Figura 8.28: Harmónicos de corrente na fase 2.

Por último temos os harmónicos de corrente da fase 3 na imagem 8.29. Nesta fase assistimos aos harmónicos com variações superiores às restantes fases, com o 3º harmónico a variar perto dos 20%, o 5º harmónico muito inconstante atingindo valores de quase 20% e o 7º harmónico mais parecido com as outras fases, a situar-se perto dos 10% nos dias de trabalho da escola.

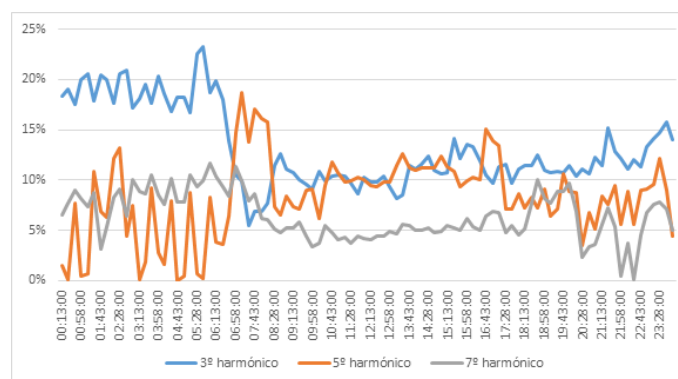


Figura 8.29: Harmónicos de corrente na fase 3.

Ao pedido feito à EDP, para disponibilização da potência de CC do PT que alimenta a escola, obteve-se resposta na qual indica que o respectivo PT é uma instalação de serviço particular e, por isso, não tem a informação pedida. Foi-nos fornecido, ainda assim, o valor de potência de CC do barramento BT do PT da EDP que fornece a zona onde se insere a escola, de 15,75 MVA.

Recorrendo então à tabela 5.3 apresentada no capítulo 5 e às respetivas equações, 5.4 e 5.5, obteve-se o seguinte resultado:

$$I_{CC} = \frac{1000 * 15,75}{\sqrt{3} * 15000} = 606,218A \quad (8.1)$$

$$I_L = \frac{206}{1 * \sqrt{3} * 15} = 7,93A \quad (8.2)$$

$$\frac{I_{CC}}{I_L} = 76,46 \quad (8.3)$$

Com o resultado da equação 8.3 e consultando a tabela 5.3 verificamos que os harmónicos de corrente não podem ultrapassar os 10% o que, como se viu, ultrapassa com bastante frequência existindo até harmónicos que raramente têm valores abaixo dos 10%.

A correção deste problema requer um estudo mais aprofundado da rede da escola, de modo a perceber a origem da poluição harmónica e posterior dimensionamento de um filtro caso necessário.

## 8.5 AVAC

As instalações em estudo possuem diversos equipamentos AVAC que contribuem para os valores do consumo de eletricidade existentes.

Recorreu-se ao técnico designado para estas instalações para se saber informações sobre o funcionamento deste tipo de equipamentos, se estão ligados de forma contínua ou quando ligam/desligam, e a informação obtida é de que quando é necessário ligar ou desligar algum equipamento é realizado manualmente pelos funcionários da escola.

Esta situação não permite estudar os impactos do funcionamento dos equipamentos AVAC nos consumos totais de energia da escola pelo que neste subcapítulo se irá relatar a situação atual descrevendo todos os equipamentos existentes nos diversos edifícios que constituem a escola em questão.

### 8.5.1 Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN)

Como já referido no capítulo 4 estes equipamentos são responsáveis pela circulação e renovação do ar interior utilizando neste caso apenas ar novo. São constituídos por um ventilador de insuflação (VI), um ventilador de extração (VE) e um recuperador e a potência de cada um destes componentes varia de acordo com o local de instalação.



Figura 8.30: UTAN localizada no bloco B.

A imagem 8.30 apresenta a UTAN instalada na cobertura do bloco B, podendo-se verificar que a configuração das unidades instaladas é de dupla altura (Double-Deck) permitindo que o ar exterior seja aquecido pelo ar interior que é extraído, de acordo com a figura

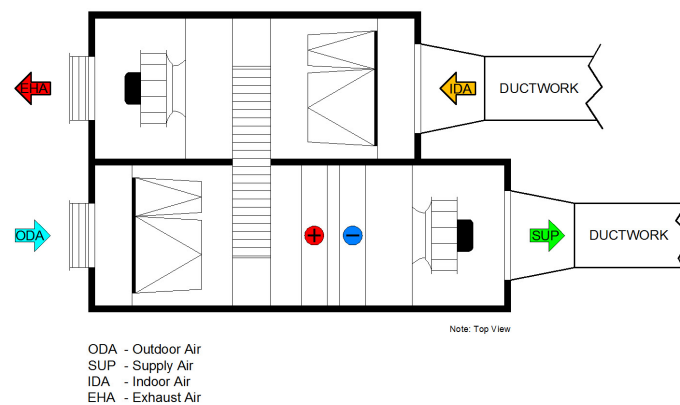


Figura 8.31: Configuração Double-Deck - 100% ar exterior.

Na escola existem 9 UTAN distribuídas da seguinte forma:

- 1 no bloco A;
- 2 no bloco C;
- 2 no bloco D;
- 1 no bloco E;
- 1 no bloco F;

- 1 no bloco G;
- 1 no bloco H.

### 8.5.2 RoofTops (RT)

São unidades compactas com ventiladores incorporados e que têm como função aquecer ou arrefecer o ar. Tratam-se de equipamentos elétricos.

Existem 5 rooftops, todos localizados no bloco B. Cada um deles ligado a um sistema de condutas independente que faz a distribuição do ar a apenas um espaço e sua potência varia de acordo com o espaço destinado. Os espaços em questão são os seguintes:

- Biblioteca;
- Auditório;
- Refeitório;
- Sala Polivalente;
- Cozinha.



Figura 8.32: Rooftop situado na cobertura do bloco B.

### 8.5.3 Caldeiras

Para a produção de AQS (águas quentes sanitárias) existem 4 caldeiras, todas com uma potência de 500 W e distribuídas uma por cada um dos seguintes blocos:

- Bloco B;
- Bloco D;

- Bloco E;
- Bloco H.

#### 8.5.4 Chiller

Para a refrigeração de água existe apenas um grupo compacto de arrefecimento de água (chiller) com uma potência de 90 kW que se situa no bloco C.

#### 8.5.5 VRV

É um equipamento elétrico que funciona pelo mesmo princípio dos rooftops e que apresenta um rendimento elevado. Permite ligar várias unidades interiores a uma unidade exterior, executando um regime de cada vez, aquecimento ou arrefecimento. Existem 2 equipamentos destes na escola, um com uma potência de 6,03 kW situado no bloco B e outro com uma potência de 15,38 kW que se encontra instalado no bloco D.

### 8.6 Sistema Solar Fotovoltaico

Como já referido, um sistema solar fotovoltaico permite a transformação de energia solar em energia elétrica que à posteriori pode ser vendida na íntegra (UPP) ou consumida pela instalação vendendo apenas o excedente (UPAC).

Estes dois regimes referidos na capítulo 7, obrigam o sistema a instalar a diferentes requisitos dependendo do regime a que se destinam, pelo que para se poder comparar os dois regimes no sistema em questão é necessário verificar a cumprimento destes mesmos requisitos para os dois casos, presentes na tabela 7.1 na página 48.

Assim sendo, o sistema solar fotovoltaico a instalar vai ser dimensionado tendo em conta as condições disponibilizadas verificando-se se cumpre o necessário para trabalhar como UPAC ou como UPP, tornando possível a comparação da rentabilidade económica dos dois regimes.

#### 8.6.1 Localização

Tendo em conta a disposição dos edifícios que constituem a Escola Secundária da Maia, a escolha do local para a instalação dos painéis fotovoltaicos recai sobre a cobertura do bloco B.

Além de ser o local mais perto do QGBT é o espaço mais amplo disponível e, recorrendo ao software Suncalc, que está disponível na internet de forma gratuita, vemos que tem uma grande exposição solar e que os edifícios em redor não provocam grandes sombreamentos. O único obstáculo é uma árvore situada a Oeste da cobertura que provoca, a horas mais avançadas do dia, algum sombreamento.

Apesar de apenas afetar a exposição solar a uma hora mais tardia, é possível proceder-se à poda da árvore reduzindo assim o sombreamento. Na imagem 8.33 é possível observar a exposição solar durante o mês de Agosto.

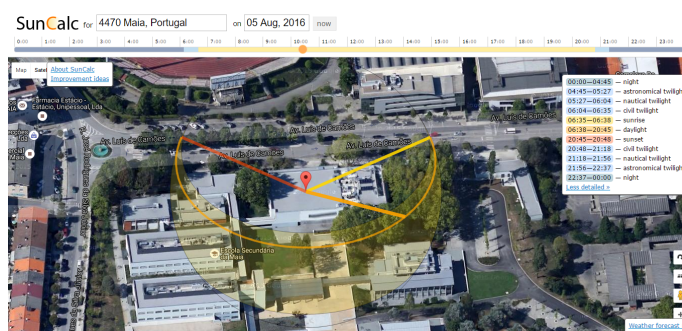


Figura 8.33: Exposição solar durante o mês de Agosto.

A área escolhida tem uma área de quase 775 metros quadrados e não tem qualquer inclinação. Através do software PVGIS, é possível calcular a radiação solar que os painéis vão ter consoante a sua inclinação, prevendo a produção de energia do sistema solar fotovoltaico.

O valor da inclinação a utilizar vai determinar o sombreamento provocado pelo painel e consequentemente o espaçamento que cada fileira de painéis vai necessitar de ter entre si. Tendo em conta que o espaço disponível é reduzido, é necessário encontrar uma solução que permita a maximização do número de painéis a instalar sem perder muita radiação solar, obtendo-se desta forma o máximo de produção de energia.

### 8.6.2 Módulo Fotovoltaico

Para se poder calcular o sombreamento e à posteriori a disposição do sistema e o número de painéis a instalar é preciso escolher o módulo fotovoltaico. Esta escolha recaiu sobre um modelo da Martifer Solar com uma potência de 260 W, Mprime Genius 4BB, que apresentam um bom rendimento e uma boa relação qualidade/preço, além de ser um fabricante nacional.

É um modelo de silício policristalino que assegura uma degradação linear do desempenho até 25 anos e uma garantia do produto de 10 anos. Possui também uma textura interna que aumenta a absorção de radiação solar e tem elevada resistência mecânica, à amónia e também à corrosão salina. [29]

### 8.6.3 Sombreamento

Escolhido a painel é então possível proceder-se aos cálculos do sombreamento e do estudo da melhor inclinação a utilizar.

Como já referido anteriormente, o sombreamento vai ditar o espaço que é necessário assegurar entre as filas de painéis consecutivas para que a sombra provocada pelas mesmas não prejudique a produção de energia da fila seguinte.



### 8.6.3.1 Altura mínima do Sol

Para se poder calcular o sombreamento máximo provocado pelo painel é necessário o valor da altura mínima do Sol. Para este cálculo é necessário saber:

- Latitude da escola: 41,233°;
- Ângulo horário solar (hs): o cálculo é realizado para um ângulo horário solar nulo (0°);
- Declinação solar (ds); este valor é de -23,45° no hemisfério norte;
- Hora solar (ts); o cálculo é realizado para o meio-dia (12 horas).

Tendo estes dados, é então possível calcular a altura mínima do Sol. de acordo com a equação 8.4:

$$\sin \beta = \sin(lat) * \sin(ds) + \cos(lat) * \cos(ds) * \cos(hs) \rightarrow \beta = 25,317^\circ \quad (8.4)$$

### 8.6.3.2 Altura e comprimento no chão dos módulos

Juntamente com a altura mínima do Sol é necessário também calcular a altura dos módulos recorrendo à trigonometria.

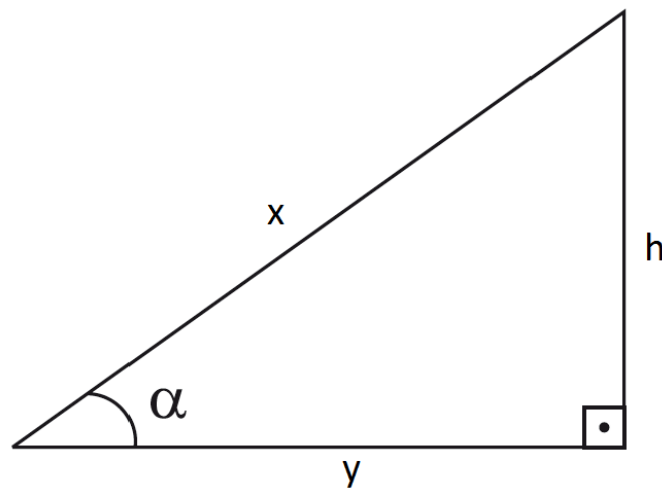


Figura 8.34: Triângulo rectângulo.

A altura vai depender da inclinação a que se instala o painel e do seu modo de instalação, de pé ou deitado. O valor da altura é calculado recorrendo à equação 8.5:

$$\sin \alpha = \frac{h}{x} \leftrightarrow h = x * \sin \alpha \quad (8.5)$$

A determinação da altura do painel permite calcular o comprimento que este irá ocupar no chão recorrendo ao teorema de Pitágoras, de acordo com a equação 8.6:

$$x^2 = y^2 + h^2 \leftrightarrow y = \sqrt{x^2 - h^2} \quad (8.6)$$

### 8.6.3.3 Distância entre fileiras

Para o cálculo da distância entre as filas, o valor da altura do módulo irá representar um triângulo imaginário que, com o ângulo correspondente à altura mínima do Sol, permite calcular o outro cateto, que corresponde à distância entre o fim de uma fileira e o início da fileira seguinte, recorrendo à equação:

$$\tan(25,317) = \frac{h}{d1} \leftrightarrow d1 = \frac{h}{\tan(25,317)} \quad (8.7)$$

### 8.6.3.4 Inclinação dos módulos

Assim sendo, foi elaborado um estudo para a determinação da inclinação a utilizar:

Tabela 8.23: Número de módulos vs inclinação

Mprime Genius 4BB 260W					
	Módulo em pé		Módulo deitado		
Altura do módulo [m]	0,94	0,56	0,57	0,39	0,34
Comprimento [m]	1,64	1,64	0,992	0,992	0,992
Largura [m]	0,992	0,992	1,64	1,64	1,64
Inclinação [°]	35	20	35	23	20
Comprimento no chão [m]	1,34	1,54	0,81	0,91	0,93
Distância entre módulos [m]	1,99	1,18	1,20	0,82	0,72
Número de módulos	216	247	227	264	264

Na tabela 8.23 observamos os resultados obtidos verificando-se que o maior número de painéis é conseguido através da instalação do módulo deitado com uma inclinação entre os 20° e os 23°.

Recorrendo agora ao software PVGIS, é possível observarmos a radiação obtida com diferentes valores de inclinação e para um azimute de -6°, na imagem

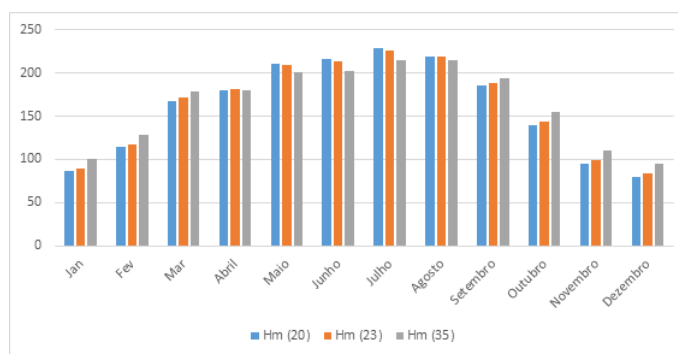


Figura 8.35: Radiação solar na Escola Secundária da Maia.

O mesmo software também permite a simulação da produção de eletricidade do sistema tendo esta sido feita com as diferentes inclinações e a respetiva potência de pico, que depende do número de módulos instalados, tendo-se obtido os resultados presentes na tabela.

Tabela 8.24: Produção estimada de eletricidade num ano.

Inclinação	20	23	35
hW.h	98900	99900	87100
N.º módulos	264	264	227

Podemos concluir então que a instalação dos painéis deitados com uma inclinação de 23° é a melhor obtendo-se uma maior produção relativamente às restantes opções.

#### 8.6.4 Cálculo do número máximo e mínimo de painéis por string

Neste ponto é determinado o tamanho máximo e mínimo da string de acordo com as condições atmosféricas presentes no local da instalação. Para esse efeito foi considerada uma temperatura mínima de -10°C e máxima de 60°C.

Tabela 8.25: Características do módulo.

Martifer Solar Mprime Genius 4BB		
Potência Nominal	$P_{nom}$	260 W
Tolerância de Potência		0 + 5 W
Corrente do MPP	$I_{mpp}$	8,52 A
Tensão do Mpp	$V_{mpp}$	30,5 V
Tensão em CC (25°C)	$V_{oc}$	37,8 V
Corrente em CC	$I_{sc}$	9,06 A
Eficiência do módulo		16
Tensão máx do sistema	$V_{syst}$	1000 V
Corrente máx do fusível	$I_f$	15 A
NOCT		46 +- 2
Coefficiente de temperatura	$\beta$	-0,33%

Na tabela 8.25 podemos consultar as características do painel e retirar os valores necessários para os cálculos a efetuar. Os valores apresentados são valores à temperatura de 25°C pelo que é necessário calcular o valor das tensões às temperaturas limite definidas, de acordo com as equações 8.8 e 8.9.

$$V_{CA}(-10^{\circ}\text{C}) = \left(1 - \frac{\Delta T * \beta}{100}\right) * V_{OC} = \left(1 - \frac{35 * (-0,33)}{100}\right) * 37,8 = 42,1659\text{V} \quad (8.8)$$

$$V_{mpp}(60^{\circ}\text{C}) = \left(1 - \frac{\Delta T * \beta}{100}\right) * V_{mpp} = \left(1 - \frac{35 * (-0,33)}{100}\right) * 30,5 = 34,02275\text{V} \quad (8.9)$$

O número máximo de painéis por string é calculado através do quociente entre a tensão de entrada do inversor e a tensão em circuito aberto do módulo à sua temperatura mínima (-10°C), como se verifica na equação 8.10.

$$N_{maxpaineis} = \frac{V_{maxDCinv}}{V_{ca}(-10^{\circ}\text{C})} = \frac{1000}{42,1659} = 23,716 \quad (8.10)$$

Tendo em conta que o número de módulos da mesma string tem de ser inteiro, o número máximo por string vai ser 23.

A determinação do número mínimo de módulos por string é feita considerando uma interrupção abrupta do sistema provocando uma tensão em circuito aberto elevada. Assim sendo, é necessário que a tensão de entrada do inversor seja superior à tensão em circuito aberto da string, determinando-se o seu número mínimo pelo quociente da tensão MPP mínimo do inversor pela tensão do módulo quando a sua produção é máxima, à temperatura de 60°C.

$$N_{minpaineis} = \frac{V_{minDCinv}}{V_{mpp}(70^{\circ}\text{C})} = \frac{150}{34,02275} = 4,409 \quad (8.11)$$

Como só pode ser um número inteiro e refere-se a um valor mínimo, é feito o arredondamento para cima, sendo 5 o número mínimo de painéis por string.

### 8.6.5 Potência do sistema fotovoltaico

Através das faturas da EDP fornecidas pela escola foi analisado o consumo mensal durante os períodos de cheia e ponta, que correspondem ao horário durante o qual o sistema fotovoltaico irá produzir energia, para se determinarem o pico de potência consumida. Com base nos consumos mensais foram calculados os diários e, tendo em conta os ciclos horários, foram determinados os picos de consumo de acordo com a tabela 8.26.

Tabela 8.26: Potências de pico

	Dez.	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Set.
Consumo diário em ponta [kW.h]	266,1	363,6	385,4	317,04	295,2	273,8	213,8	209,5	158,5	229,8
Potência de ponta [kWp]	66,5	90,9	96,4	79,3	73,8	68,4	53,4	52,4	39,6	57,4
Potência do sistema [kWp]	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9	68,9

Tendo em conta o espaço disponível para a instalação do sistema fotovoltaico, apenas com a instalação de painéis com maior potência seria possível cobrir o pico do consumo em todos os meses do ano. A utilização do painel atual permite a produção equivalente ou superior ao consumo da escola em maior parte dos meses do ano, à exceção dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril.

### 8.6.6 Inversor

Como já referido o capítulo 6 o gerador fotovoltaico produz energia em corrente contínua que depois necessita de ser transformada em corrente alternada. Para esse efeito é necessário o inversor, equipamento responsável pela passagem de DC para AC tornando possível a utilização da energia produzida pelas instalações da escola e para injeção na rede pública.

Os inversores escolhidos são da marca SMA, empresa líder mundial em tecnologia para sistemas fotovoltaicos, do modelo SUNNY TRIPOWER, modelo este destinado a grandes instalações comerciais e industriais.

Apresenta uma eficiência de 98,4% e, devido a um conceito de multistring, elevada flexibilidade de dimensionamento e compatibilidade com um grande número de módulos fotovoltaicos.

Permite a regulação da potência reativa no ponto de ligação à rede e uma disponibilização da mesma a qualquer hora e tem integrado um descarregador de sobretensões CC tipo II. [30]

Este modelo possui três versões com potências diferentes, 15000 W, 20000 W e 25000 W, sendo que no projeto em causa são utilizados três inversores, um com a potência mais reduzida e os outros dois com a potência mais elevada.

### 8.6.7 Configuração do sistema fotovoltaico

Procedendo-se com o dimensionamento do sistema em questão, foi utilizado o software Sunny-Design onde foram colocados os parâmetros até agora determinados.

Este software permite o dimensionamento automático, sugerindo a melhor opção do inversor a usar, a divisão das strings e o tamanho de cada uma. Resultou então na utilização de dois inversores Sunny Tripower 25000TL com três strings de 21 módulos cada ligadas na entrada A e duas strings de 20 módulos cada ligadas na entrada B, e um inversor Sunny Tripower 15000TL com duas strings de 20 módulos cada ligadas na entrada A e uma string de 18 módulos ligada na

entrada B. Aos inversores de maior potência ligam-se 5 strings a cada um e ao inversor de menor potência 3 strings, perfazendo um total de 13 strings com 264 módulos.

Com esta informação e com a disposição dos módulos determinada, tratou-se de chegar à melhor solução para a disposição das diferentes strings pelos módulos fotovoltaicos, chegando-se à imagem 8.36.

Na mesma imagem é também possível observar o local de instalação dos inversores, na cobertura junto ao gerador protegidos por armários de distribuição.



Figura 8.36: Disposição dos painéis e configuração das strings..

A potência do inversor deve se situar entre os 70% e os 120% da potência do gerador fotovoltaico visto que a sua eficiência é alta para cargas elevadas e suporta sobrecargas de 20% ou mais.

Na imagem 8.37 podemos verificar que a razão de potência nominal dos diferentes inversores se encontra dentro desses limites, 95% e 102% para o inversor de 25 kW e 15 kW, respetivamente.

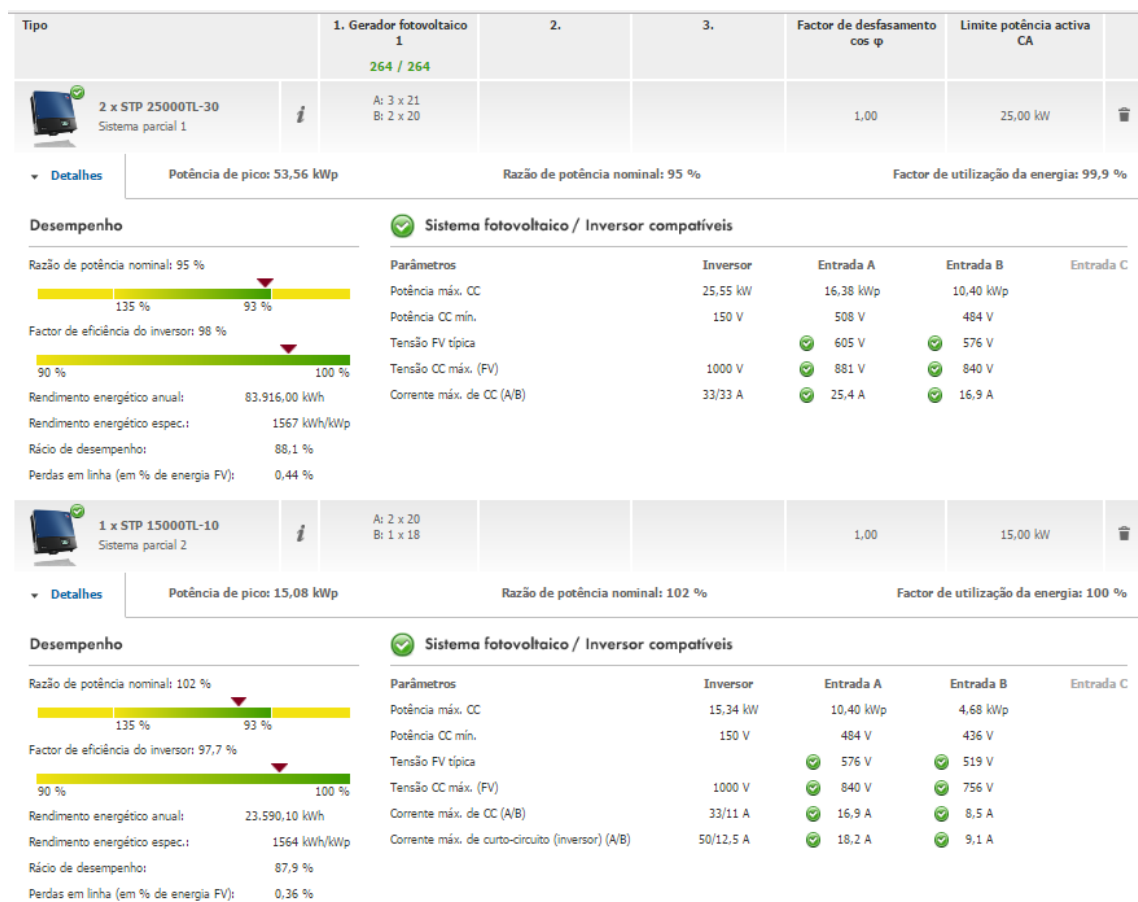


Figura 8.37: Razão da potência nominal dos inversores.

### 8.6.8 Dimensionamento das cablagens e proteções

São neste subcapítulo dimensionados os cabos, proteções e seccionadores tanto a montante dos inversores, lado DC, como a jusante dos mesmos, lado AC.

#### 8.6.8.1 Lado DC

Começando pelo lado a montante dos inversores, os cabos DC são dimensionados tendo em conta o caso mais desfavorável assegurando, desta forma, que o cabo irá suportar os restantes valores de corrente.

A secção do cabo a utilizar é calculada de acordo com as seguintes condições:

- Aquecimento, que obriga a que o cabo suporte pelo menos uma intensidade de corrente 25% superior ao valor da corrente de curto-circuito dos painéis, de acordo com a seguinte equação 8.12:

$$I_Z \geq 1,25 * I_{SC} \quad (8.12)$$

- Queda de tensão, que toma o valor máximo de 1%, representa a queda de tensão que o cabo pode ter no seu comprimento máximo, de acordo com a equação 8.13:

$$S > \frac{2 * L * I_{cabo}}{1\% * N_s * k * V_{mpp}} \quad (8.13)$$

Onde,

- $N_s$  é o número de painéis por string;
- $L$  é o comprimento do cabo;
- $V_{mpp}$  é a tensão  $V_{mpp}$  do painel;
- $K$  é a condutividade do cobre, 56.

Respeitando ambas as condições e com base nos cálculos do SunnyDesign é necessário um cabo DC com secção de 4 mm<sup>2</sup>. De acordo com a disposição demonstrada anteriormente, imagem 8.36, e recorrendo ao AutoCAD é possível determinar que são precisos 1000 metros de cabo DC já a contar com alguma folga caso seja necessário. Na imagem seguinte, imagem 8.38, é possível visualizar o resultado do dimensionamento dos cabos DC no SunnyDesign e constatar que as quedas de tensão estão dentro dos limites, abaixo de 1%.

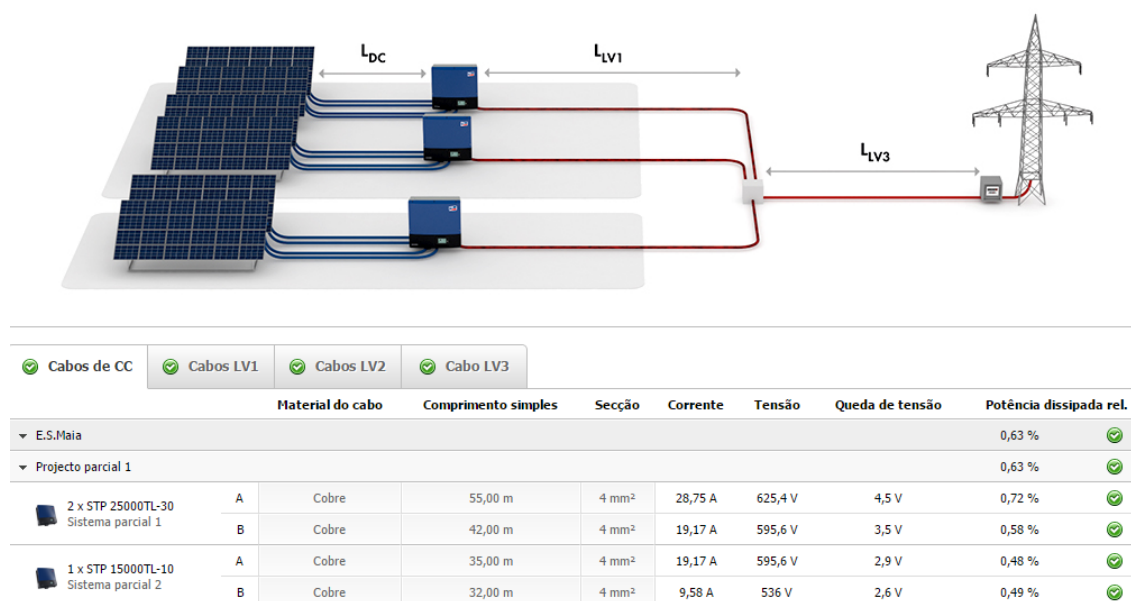


Figura 8.38: Dimensionamento dos cabos DC.



### 8.6.8.2 Fusível de fileira

Como este sistema fotovoltaico tem mais de 4 fileiras, ou strings, torna-se necessário incluir proteção para a possibilidade de geração de uma corrente de defeito que cause um mau funcionamento do sistema. Esta proteção é conseguida com a instalação de 2 fusíveis por cada fileira (um por cada pólo), possibilitando um isolamento elétrico das mesmas.

A corrente nominal deste tipo de aparelhagem deve ser inferior à corrente máxima admissível no cabo e inferior à corrente limite de não fusão. A tensão à qual deve trabalhar é calculada com a seguinte fórmula 8.14.

$$V = M * 1,15 * V_{OC} \leftrightarrow V = 21 * 1,15 * 37,81 = 913,11V \quad (8.14)$$

Onde,

- $M$  é o número de módulos ligados em série em cada fileira;
- $V_{OC}$  é a tensão em circuito aberto.

O índice de corrente do fusível tem de respeitar a seguinte fórmula 8.15.

$$I_N \geq 1,5 * I_{CC} \leftrightarrow I_N \geq 1,5 * 9,06 \leftrightarrow I_N \geq 13,59A \quad (8.15)$$

Onde  $I_{CC}$  é a corrente de curto circuito do módulo.

Tendo em conta estes resultados, foi escolhido um fusível cilíndrico com um tamanho de 10x38 mm da marca Hager, com tensão de 1000 VDC e intensidade de corrente de 15 A, imagem 8.39.

Como são necessários dois fusíveis por cada uma das 13 strings, são necessários no total 26 fusíveis.



Figura 8.39: Fusível de fileira da marca Hager.

Estes fusíveis serão instalados e corta circuitos porta fusíveis de um pólo da marca Hager, com referência L501PV, imagem 8.40, que irão estar localizados nos armários de distribuição que irão albergar os inversores.



Figura 8.40: Corta circuitos porta fusíveis da marca Hager.

### 8.6.8.3 Interruptor DC

O interruptor DC, ou aparelho de corte geral, tem a função de isolar manualmente o gerador fotovoltaico para o caso de ser necessário efetuar trabalhos de manutenção e/ou reparação.

Esta aparelhagem deve ser dimensionada tem em conta a tensão máxima em circuito aberto do gerador fotovoltaico à temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  e para 125% da corrente máxima do mesmo.

Tem então de respeitar as seguintes fórmulas, 8.17 para a tensão e 8.16 para a corrente:

$$I_{nDC} \geq 1,25 * I_{CC} \quad (8.16)$$

$$U \geq U_{OC(-10^{\circ}\text{C})} \quad (8.17)$$

Os interruptores DC são instalados antes do inversor e, para um isolamento eficaz do sistema, deverá interromper tanto o polo positivo como o polo negativo. É então dimensionado um aparelho de corte geral para cada string, tendo-se obtido um  $I_n$  de 11,325 A e uma  $U_n$  de 885,48 V para o número máximo de 21 módulos.

A Hager, marca escolhida para os equipamentos de proteção e seccionamento, disponibiliza apenas um interruptor para sistemas fotovoltaicos, imagem 8.41. É um interruptor de 4 polos, com uma tensão de 1000 VDC e uma corrente de 32 A, cumprindo os valores exigidos pelas equações 8.16 e 8.17, podendo cada um isolar duas strings cada um.

Tendo em conta a distribuição das strings pelos inversores e, visto estes se encontrarem em armários separados, serão necessários 8 interruptores.



Figura 8.41: Interruptor DC da marca Hager.

#### 8.6.8.4 Lado AC

Olhando agora a jusante dos inversores é necessário dimensionar os cabos AC que ligam dos inversores a um quadro situado junto ao sistema fotovoltaico que tem como função juntar as três saídas e o cabo AC que liga este quadro ao QGBT. É também necessário o dimensionamento da respetiva aparelhagem.

Tal como nos cabos DC, o software de cálculo SunnyDesign dimensiona automaticamente os cabos AC, respeitando tanto a condição de aquecimento, onde a corrente máxima admissível do condutor deve ser superior à corrente de serviço, como a condição de queda de tensão máxima que não pode ultrapassar o 1% respeitando a equação:

$$\Delta U = r_F(90^\circ C) * L_{max} * I_B \quad (8.18)$$

Onde,

- $r_F(90^\circ C)$  é a resistência linear do condutor de fase para a temperatura máxima de funcionamento,  $90^\circ C$ ;
- $L_{max}$  é o comprimento da canalização;
- $I_B$  é a corrente de serviço da canalização.

Segundo o RTIEBT, a secção mínima definida para um ramal é de 6 mm<sup>2</sup> e, como são cabos instalados no exterior optou-se por cabos com isolamento a PEX (Polietileno Reticulado) que tem melhores características de isolamento e propagação do fogo e suporta uma temperatura de  $90^\circ C$ .

Os inversores de maior potência, 25kW, irão ter à saída uma corrente de 36,23 A e o de menor potência irá ter uma corrente máxima de saída de 21,74 A. Como são dois inversores de 25kW e um inversor de 15 kW, iremos ter na ligação entre o quadro AC e o QGBT uma corrente que equivale à soma das três anteriores, 94,2 A.

Efetuem-se os cálculos da condição de aquecimento tendo em conta os fatores de correção para o agrupamento de cabos enterrados, que será de 0,78 para os 3 cabos que ligam os inversores ao QAC e 0,55 para o cabo que liga o QAC ao QGBT, porque este cabo será instalado na tubagem já existente onde já se encontram instalados outros cabos.

Para o primeiro caso, o cabo a utilizar teria uma secção de  $10 \text{ mm}^2$ , com uma intensidade de corrente em regime permanente de 79 A, e para o segundo caso o cabo teria uma secção de  $50 \text{ mm}^2$  que admite uma corrente de 172 A.

Juntando a estes cálculos a condição de queda de tensão e, tendo em atenção que este cálculo não é efetuado em separado, recorrendo ao software chegou-se à conclusão que as secções a utilizar nos cabos entre os inversores e o QAC terão uma secção de  $16 \text{ mm}^2$  e os cabos a utilizar entre o QAC e o QGBT terão uma secção de  $95 \text{ mm}^2$ .

Estes resultados asseguram uma queda de tensão dentro dos valores definidos como podemos verificar na imagem 8.42 para o primeiro caso e na imagem 8.43 para o segundo caso, perfazendo uma queda de tensão para o lado AC de 0,95%.

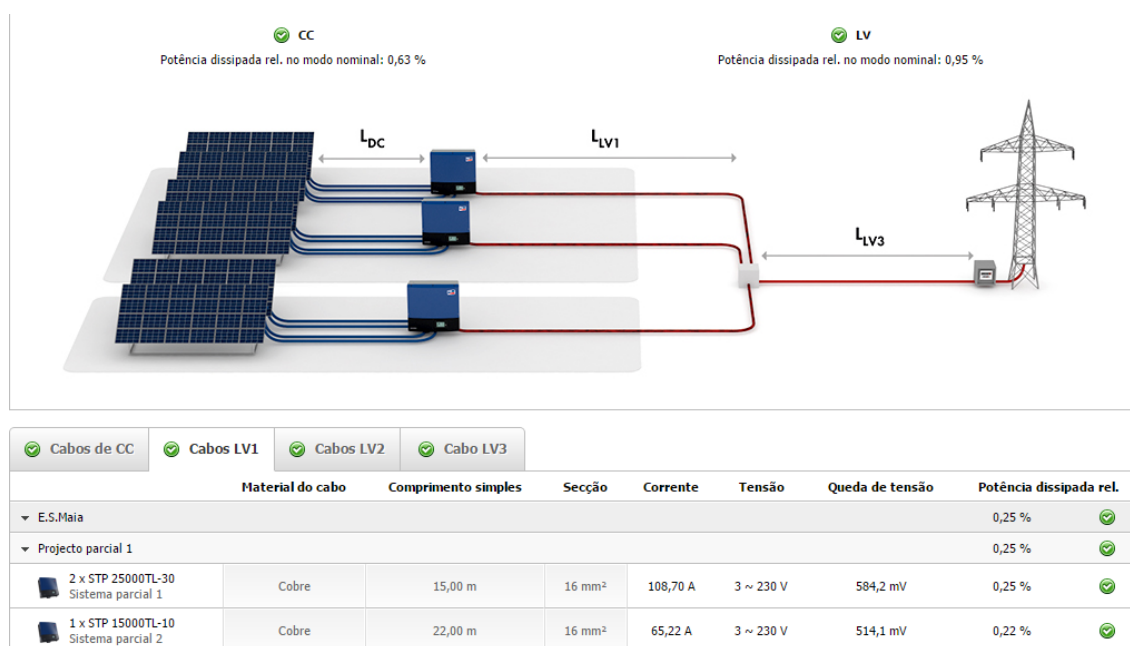


Figura 8.42: Dimensionamento dos cabos AC dos inversores para o QAC.

Para esta primeira ligação, LV1, optou-se pelo cabo XV 4G16 da Cabelte sendo necessários cerca de 50 metros para ligar os três inversores ao quadro.

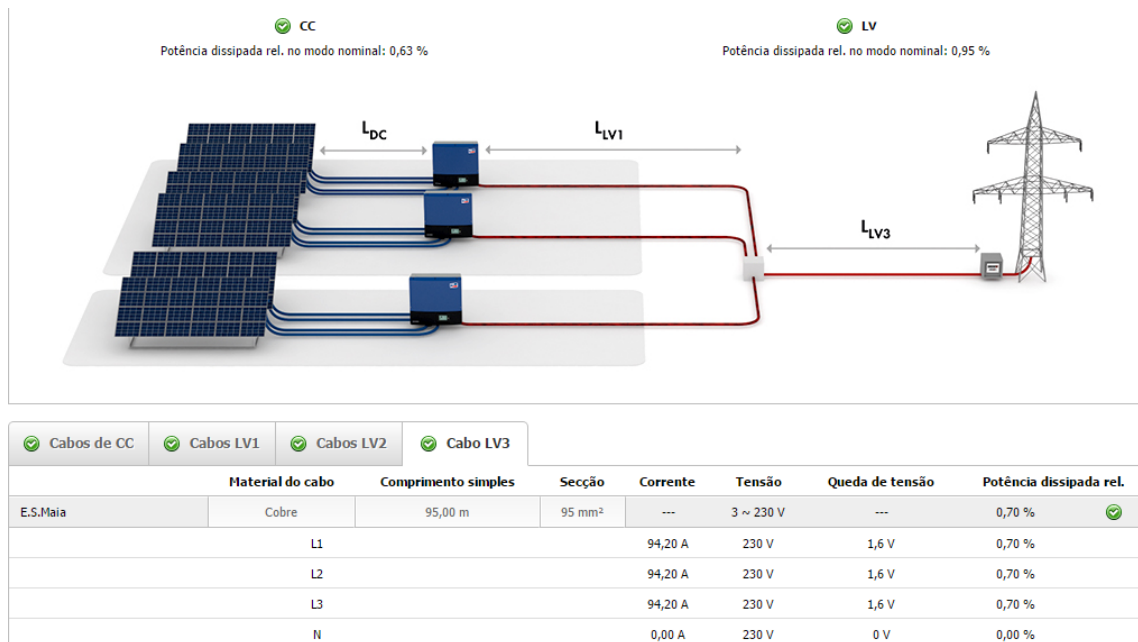


Figura 8.43: Dimensionamento dos cabos AC do QAC para o QGBT.

Para o segmento LV3, o cabo escolhido é o XV 3x95 + 50, também da Cabelte e são precisos 95 metros.

### 8.6.8.5 Disjuntor

Para proteção dos cabos que ligam os inversores ao QAC são dimensionados disjuntores tendo em conta a condição de sobrecarga do cabo, que respeita as seguintes desigualdades 8.19 e 8.20.

$$I_S \leq I_N \leq I_Z \quad (8.19)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad (8.20)$$

Onde,

- $I_S$  é a corrente de serviço, de 36,23 A;
- $I_N$  é a corrente nominal do fusível/disjuntor [A];
- $I_Z$  é a corrente máxima admissível no cabo, de valor 105 A;
- $I_2$  é a corrente convencional de funcionamento do fusível/disjuntor [A].

Tendo isto em conta, escolheu-se um disjuntor de calibre 40 A com uma corrente convencional de funcionamento de 58 A, respeitando a condição de sobrecarga do cabo.

#### 8.6.8.6 Proteção diferencial

Tendo em conta que os inversores não apresentam transformador de isolamento e as massa são ligadas à terra, deve existir um interruptor diferencial no lado AC da instalação.

Como em sistemas fotovoltaicos existem correntes residuais capacitivas de cerca de 30 mA, o interruptor em questão deve ser dotado de uma sensibilidade de 30 mA, tendo sido escolhido equipamento da marca Hager, tetrapolar de corrente nominal 40 A.

#### 8.6.8.7 Interruptor Omnipolar Geral

No QGBT deve-se instalar um interruptor tetrapolar geral com poder de corte suficiente para as correntes de serviço que percorrem cabo, de 94,20 A.

Foi escolhido um de 4 pólos com uma intensidade de corrente da marca Hager e com referência HA451, presente na imagem [8.44](#).



Figura 8.44: Interruptor Tetrapolar da marca Hager.

#### 8.6.9 Quadros DC e AC

Os inversores e a respetiva aparelhagem de proteção irão estar protegidos por armários de distribuição dispostos na cobertura de acordo com a imagem [8.36](#) demonstrada anteriormente.

Para o dimensionamento dos quadros elétricos recorreu-se a um software que a Hager disponibiliza, HagerCad. Este software permite acesso a todo o catálogo da marca facilitando a pesquisa pela diferente aparelhagem.

Deste modo, a configuração dos quadros DC, que irão albergar um inversor e a aparelhagem de proteção dos cabos, pode ser consultada na imagem [8.45](#), sendo o quadro do lado esquerdo correspondente ao inversor de menor potência. O tamanho dos armários permite a instalação do inversor no seu interior, ficando assim protegido das intempéries.

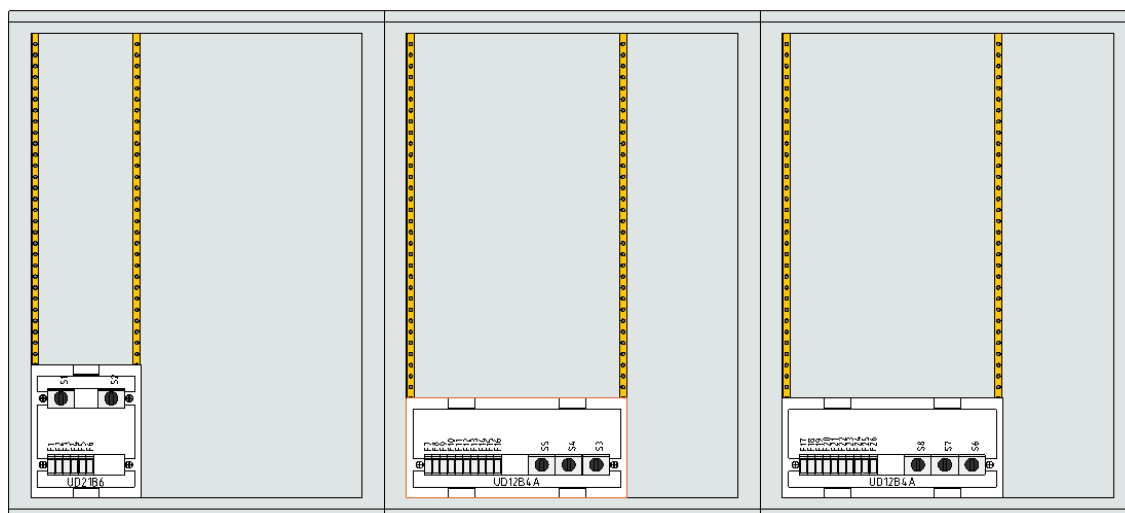


Figura 8.45: Quadros DC.

Quando ao quadro parcial AC, foi também utilizado o software HagerCad resultando na imagem [8.46](#).

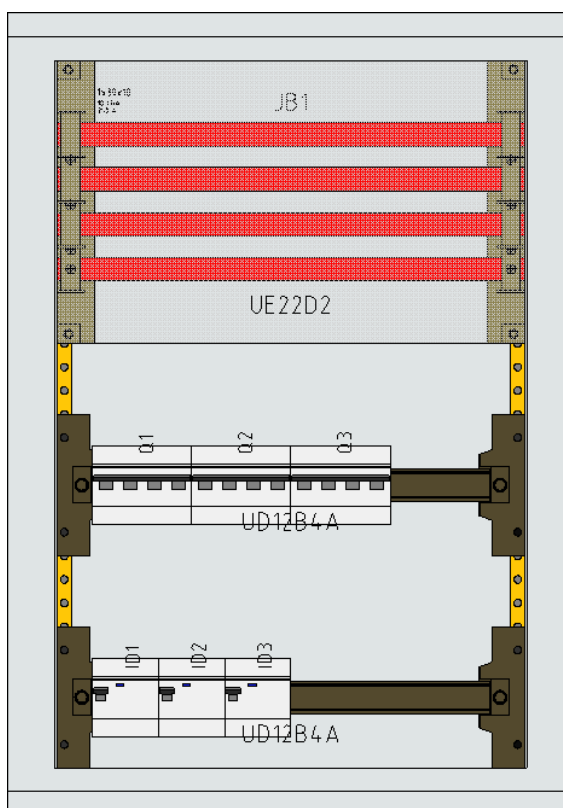


Figura 8.46: Quadros AC.

Nas imagens anteriores é possível verificar as disposições dos quadros com toda a aparelhagem necessária.

### 8.6.10 Proteção contra descargas atmosféricas

Como a estrutura que suporta os módulos fotovoltaicos é metálica considera-se que é captadora de descargas atmosféricas, devendo ser efetuada uma ligação à terra com um condutor de cobre de secção mínima de  $16 \text{ mm}^2$ .

Neste sistema, as estruturas metálicas estão ligadas entre si e ligadas a um barramento equipotencial colocado nos quadros onde se encontram os inversores, os quais também estão ligados à terra. Os barramentos de terra destes quadros ligam ao QAC e posteriormente ao sistema de terras da escola, através de uma caixa de visita que se situa junto ao edifício. O esquema das ligações pode ser consultado na imagem 8.47.

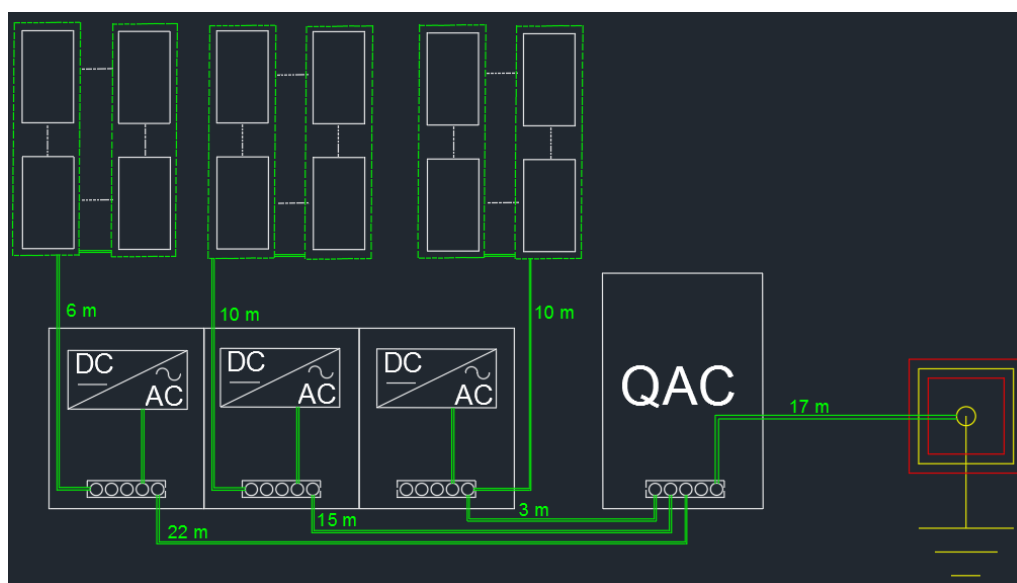


Figura 8.47: Diagrama de equipotencialização das massas e ligação à terra.

### 8.6.11 Orçamento e Rentabilidade

Com base nos preços encontrados para os diferentes equipamentos, foi elaborado um orçamento o mais realista possível, que se pode consultar na imagem 8.48, onde foi considerada uma margem de 15% sobre os materiais.



Orçamento						
MÓDULOS						53 502,22 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
MPrime G Series Genius 4BB 260		264	160,00 €	un.	42 240,00 €	
Estrutura triangular 12 paineis		14	511,92 €	un.	7 166,88 €	
Estrutura triangular 7 paineis		12	298,62 €	un.	3 583,44 €	
Estrutura triangular 6 paineis		2	255,95 €	un.	511,90 €	
Quadros e aparelhagem DC						4 856,83 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Amário Universal IP65 UV a.1150 l.850 p.300	FL73SP	3	821,29 €	un.	2 463,87 €	
Fecho alavanca chave 1333	FZ533	3	66,09 €	un.	198,27 €	
Porta Esquemas A4 extensível p/colar	FZ757A4	3	11,18 €	un.	33,54 €	
Etiquetas p/identif. De circuito 10M	JE001	2	2,69 €	un.	5,38 €	
Etiqueta p/identif. De circuitos 24M	JE003	2	5,26 €	un.	10,52 €	
Másc. Branca RAL 9010 em banda 24M	JP002	2	2,96 €	un.	5,92 €	
Másc. Branca RAL 9010 em banda 10 M	JP003	2	2,79 €	un.	5,58 €	
Fusível fotovoltaico 10x38 1000 VDC 15 A	LF315PV	26	6,13 €	un.	159,38 €	
Corta-circuitos p. Fusíveis 1P	L501PV	26	5,06 €	un.	131,56 €	
Interruptor 4P 32A 1000 VDC	SB432PV	8	193,22 €	un.	1 545,76 €	
Unid. p/mod 1x24M a.225 l.500	UD12B4A	2	59,08 €	un.	118,16 €	
Unid. p/mod 2x10M c/calha a.300 l.250	UD21B6	1	58,20 €	un.	58,20 €	
Jogo 2 montantes univ. a.1050	UN07A	3	40,23 €	un.	120,69 €	
DC						650,00 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Cabo DC 4 mm2		10	65,00 €	100 m	650,00 €	
INVERSORES						13 634,25 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
STP 15000TL-10 ( com DST)		1	4 243,31 €	un.	4 243,31 €	
STP 25000TL-30 (com DST)		2	4 695,47 €	un.	9 390,94 €	
AC						4 396,33 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Cabo XV 1X16 CABELTE		0,09	2 154,00 €	km	183,09 €	
Cabo XV 4G16 CABELTE		0,05	8 961,80 €	km	448,09 €	
Cabo XV 3X95 + 50 CABELTE		0,095	39 633,20 €	km	3 765,15 €	
Quadro e aparelhagem AC						2 441,33 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Armário Universal IP65 UV a.850 l.600 p.300	FL52SP	1,00	646,56 €	un.	646,56 €	
Interruptor Tetrapolar 4P 125 A	HA451	1,00	104,28 €	un.	104,28 €	
Interruptor diferencial 4P 40A 30mA	CDC440A	3,00	117,99 €	un.	353,97 €	
Disjuntor 4P 40A C 50kA 6M	HMX440	3,00	293,64 €	un.	880,92 €	
Másc. Branca RAL 9010 em banda 10M	JP003	2,00	2,79 €	un.	5,58 €	
Pente ligação tetrapolar (pont.) 12z	KB463A	1,00	22,07 €	un.	22,07 €	
Unid. p/mod. 1x24M a.225 l.500	UD12B4A	2,00	59,08 €	un.	118,16 €	
Unid. Barram. Horiz. 250A a.300 l.500	UE22D2	1,00	279,40 €	un.	279,40 €	
Jogo 2 montantes univ. a.750	UN05A	1,00	30,39 €	un.	30,39 €	
TOTAL de material						79 480,96 €
Margem sobre materiais						11 922,14 €
Mão de Obra						4 800,00 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Mão de Obra		240	20,00 €	Horas	4 800,00 €	
Total						96 203,11 €

Figura 8.48: Orçamento.

Assumindo o sistema como uma Unidade de Produção em AutoConsumo (UPAC) e consultando a imagem 8.49 é possível verificar que da estimativa de consumo anual de energia de 400 MWh, a instalação do sistema solar fotovoltaico permite uma poupança no consumo de 105 MWh, que corresponde a 26,3%, injetando na rede apenas 2259 kWh por ano.

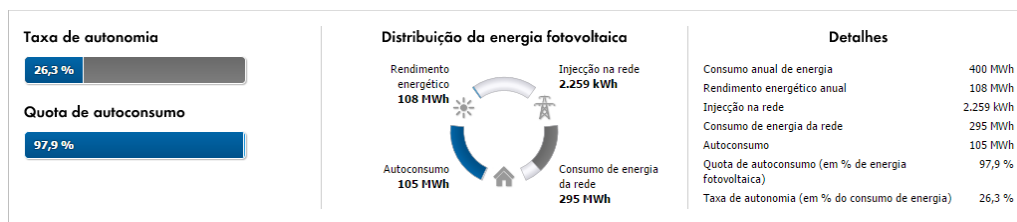


Figura 8.49: Distribuição de energia fotovoltaico.

Esta taxa de autonomia permite uma poupança considerável na fatura energética anual sendo possível comparar o custo anual com e sem sistema fotovoltaico na imagem 8.50.

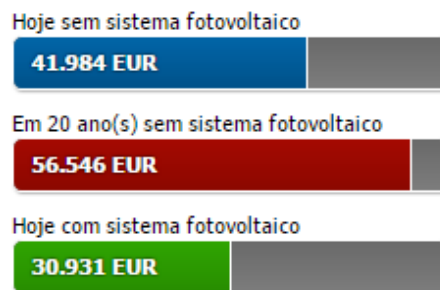


Figura 8.50: Comparação dos custos de energia.

A imagem também apresenta a estimativa do custo anual de eletricidade daqui a 20 anos, assumindo uma inflação de 1,5%. Atualmente o sistema fotovoltaico irá permitir uma poupança anual de cerca de 11000€, refletindo-se num retorno do investimento de cerca de 8 anos e uma poupança total ao fim de 20 anos de mais de 200 000€, como se pode observar na imagem.

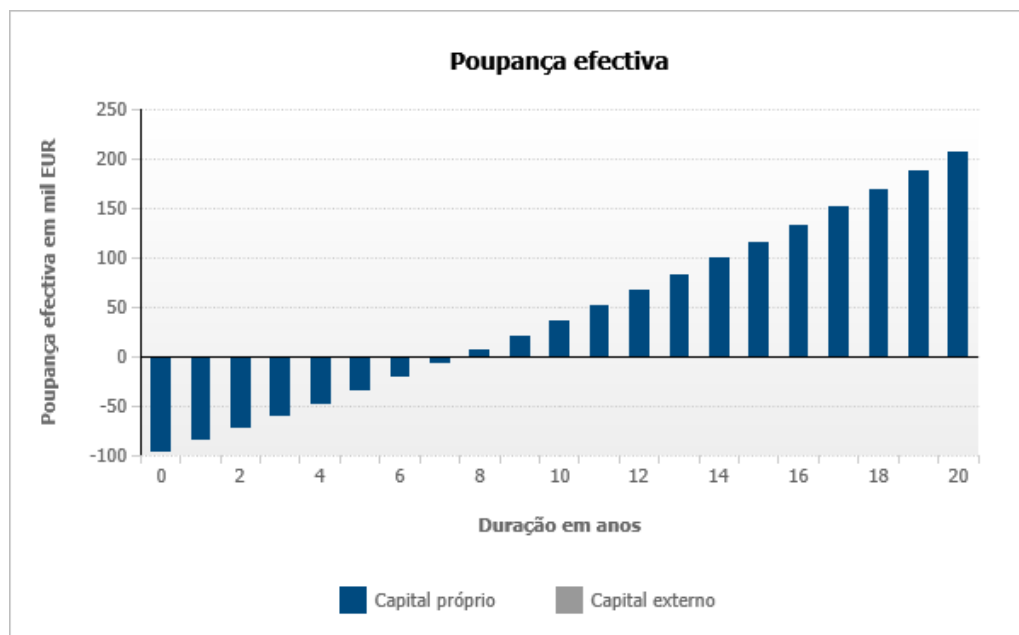


Figura 8.51: Poupança efectiva obtida com sistema fotovoltaico em regime UPAC.

Estes cálculos não englobam qualquer tipo de custo anual de manutenção, pelo que tanto a poupança como o retorno de investimento poderão sofrer pequenas alterações, mantendo-se como um bom investimento a fazer tendo em conta que o tempo de vida máximo dos equipamentos é 25 anos.

Vendo agora o sistema como uma Unidade de Pequena Produção (UPP), e como já explicado na capítulo 7, a totalidade da energia produzida pelo gerador fotovoltaico é injetada na rede em troca de um valor atribuído por um modelo de licitação indexado a uma taxa de referência de €95/MWh.

Com a taxa de referência é possível calcular o valor máximo a receber pela produção de energia num ano resultando num valor de 10 260€ de acordo com a equação 8.21.

$$95 * 108 = 10260e \quad (8.21)$$

Elaborando o mesmo estudo de rentabilidade, e assumindo novamente uma inflação de 1,5%, resulta uma poupança total ao fim de 20 anos de 127 000€, com o retorno do investimento a acontecer a 10 anos, como podemos verificar na imagem 8.52.

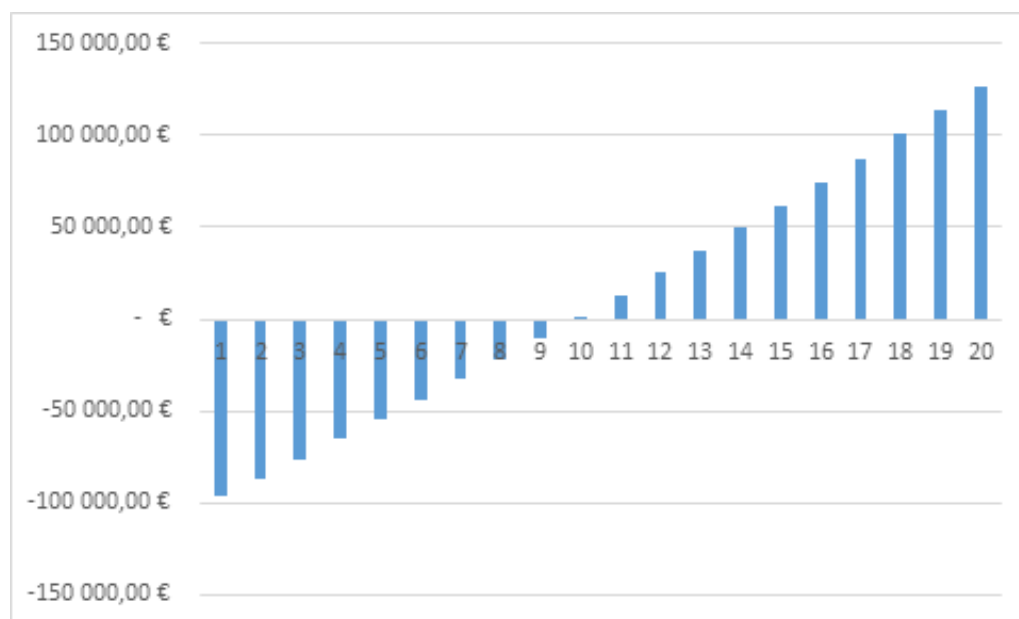


Figura 8.52: Poupança efetiva obtida no regime UPP.

### 8.6.12 UPAC vs UPP

Comparando os dois regimes, vemos que o autoconsumo reflete se numa mais poupança obtida anualmente, o que provoca um retorno do investimento mais reduzido e um maior lucro ao fim de 20 anos do que o regime de UPP. Podemos comparar mais facilmente os valores obtidos na tabela 8.27.

Tabela 8.27: Comparação dos dois regimes, UPAC e UPP

	UPAC	UPP
Investimento Inicial	96 203,11 €	96 203,11 €
Poupança/Receita Anual	11 000 €	10 260 €
Lucro (ao fim de 20 anos)	204 000 €	127 000 €
Retorno do investimento (aprox.)	8 anos	10 anos

## Capítulo 9

# Conclusões e Trabalho Futuro

A realização desta dissertação que, como o próprio nome indica, tem como principal objetivo a melhoria da eficiência energética de tal modo que permita a redução dos custos energéticos da Escola Secundária da Maia, adotando uma política energética sustentável.

A redução dos consumos energéticos pode ser conseguida de diferentes maneiras:

- Melhoria da qualidade da energia elétrica da instalação;
- Redução da potência das cargas;
- Implementação de um sistema fotovoltaico.

### 9.1 QEE

A melhoria da qualidade da energia elétrica da instalação passou pela avaliação da rede através da instalação de um analisador de rede no QGBT que permitiu a análise a diferentes pontos:

- Equilíbrio de tensão e corrente: o sistema encontra-se com as tensões em equilíbrio, mas a distribuição das cargas não é uniforme, havendo uma fase substancialmente mais carregada que as restantes;
- Fator de potência: apesar de em certas alturas sofrer uma variação mais acentuada, o fator de potência da escola mantém-se em níveis aceitáveis, o que se reflete numa reduzida faturação. Contudo, pode ser melhorada com escalões da bateria de condensadores mais pequenos, introduzindo incrementos de energia reativa mais reduzidos e assim evitar variações bruscas no fator de potência
- Poluição harmónica: foram registados valores para a poluição harmónica na forma de onda da tensão e da corrente. No primeiro caso, os valores registados para as variações da forma de onda da tensão situam-se dentro dos valores normalizados. Para a forma de onda da corrente foram registados valores dos harmónicos de corrente bastante elevados, chegando em alguns casos a 25% do valor fundamental.

## 9.2 Faturação Energética

Foram analisadas as faturas de eletricidade fornecidas pela escola e comparados os valores com diferentes tarifas e comercializadores, chegando-se à conclusão que o contrato atual que a escola tem com a EDP Comercial é o mais vantajoso.

## 9.3 Iluminação

A simulação de todos os espaços da escola com recurso ao software DiaLux permitiu apresentar uma proposta de redução de potência das lâmpadas T5 de 49W para 35W em 75 espaços diferentes.

Esta proposta prevê uma poupança anual 667,31€ na fatura energética, conseguida através de um investimento de 2 692,80€ com um retorno de 4 anos.

Tabela 9.1: Quadro Resumo da Iluminação

	Totalidades das propostas
Investimento Inicial	2 692,80 €
Poupança Anual	667,31 €
Retorno do investimento (aprox.)	4 anos

## 9.4 Projeto Fotovoltaico

A elaboração do projeto de um sistema solar fotovoltaico a instalar na escola permitiu avaliar qual o melhor regime em que este se deve inserir e o respetivo retorno financeiro, concluindo-se que a solução encontrada com o retorno financeiro mais reduzido e que produz maiores poupanças ao longo dos anos é a implementação do sistema fotovoltaico como UPAC.

Esta solução prevê um investimento de 96 000 € que iria traduzir-se numa poupança anual de 11 000 €, estando o investimento feito recuperado ao fim de 8 anos e um valor de poupança ao fim de 20 anos de 200 000€.

Tabela 9.2: Quadro resumo do projeto fotovoltaico

	UPAC	UPP
Investimento Inicial	96 203,11 €	96 203,11 €
Poupança/Receita Anual	11 000 €	10 260 €
Lucro (ao fim de 20 anos)	204 000 €	127 000 €
Retorno do investimento (aprox.)	8 anos	10 anos

## 9.5 Trabalho futuro

Como trabalho futuro, e recorrendo ao analisador de redes, é importante a avaliação da rede elétrica da escola, quadro a quadro, de modo a isolar o problema que provoca os harmónicos

de corrente e encontrar a melhor solução, e perceber se o desequilíbrio das cargas nas fases é comum à instalação toda ou não, estudando a possibilidade de tentar equilibrar as cargas pelas fases, reduzindo assim a corrente no neutro.





# Anexo A

## Iluminação

### A.1 Certificado de Calibração: Luxímetro



Instalações  
de Oeiras



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física  
Certificado de Calibração

Data de Emissão 2016-04-15 Certificado nº. COPT350/16 Página 1 de 3

Equipamento: **Luxímetro**  
Marca: Tenmars  
Modelo: DL-201  
Indicação: Digital  
Nº ident.: ---  
Nº série: 030605149

Cliente **Manvia - Manutenção e Exploração de Instalações e Construção S.A.**  
Rua Mário Dionísio, 2  
2796-957 Linda-A-Velha

Data de Calibração **2016-04-15**

Condições Ambientais Temperatura: 23,0 °C Humidade relativa: 58,0 %

Procedimento PO.M-DM/OPT 01 (Ed. E).

Rastreabilidade Iluminância, Fonte de Radiação OL 462, Luxímetro Padrão LO003/LO004, rastreados ao NPL, Inglaterra.

Estado do equipamento Não foram identificados aspectos relevantes que afectassem os resultados.

Resultados Encontram-se apresentados na(s) página(s) seguinte(s).  
A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão k=2, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de expansão de, aproximadamente, 95%.  
A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.

DN/064.2/07

Calibrado por  
  
David Silva

Responsável pela Validação  
  
Silva Gomes (Responsável Técnico)

instituto de soldadura  
e qualidade

Lisboa: Av. Prof. Cascaes Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Porto: Rua do Minho, 258 • 4415-481 Oporto • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 18/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA N/A and ILAC N/A for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física  
**Certificado de Calibração**

n.º COPT350/16

Página 2 de 3

**Método de calibração**

A calibração de luxímetros é realizada num banco fotométrico por comparação com um detector de referência, usando uma fonte de radiação com uma lâmpada de incandescência com filamento de tungsténio em atmosfera gasosa com temperatura de cor de 2856K (Iluminante A da CIE), que produz níveis de iluminância, com incidência normal sobre a superfície do detector.

**Resultados obtidos**

Os resultados obtidos são apresentados na tabela seguinte.

Da tabela resultaram os gráficos representados nas folhas seguintes. Em abcissas apresentam-se os valores correctos de Iluminância (Valor padrão), e em ordenadas, os valores medidos com o Luxímetro. Para uma mais fácil e melhor compreensão destes resultados, representa-se também a recta de resposta ideal (45°).

Os valores correctos obtêm-se multiplicando o factor de correcção pela leitura no equipamento.

**Iluminância**

Escala de medição	Valor de referência	Valor do equipamento	Erro	Incerteza Expandida
2000 lx	305,5 lx	271 lx	-11,4 %	± 1,6 %
	811,3 lx	719 lx	-11,4 %	± 1,5 %
	1325 lx	1174 lx	-11,4 %	± 1,5 %
	1830 lx	1621 lx	-11,4 %	± 1,5 %
200 lx	32,11 lx	28,3 lx	-11,9 %	± 1,5 %
	82,02 lx	72,3 lx	-11,9 %	± 1,5 %
	132,3 lx	116,6 lx	-11,9 %	± 1,5 %
	184,0 lx	162,1 lx	-11,9 %	± 1,5 %

Calibrado por

David Silva

Responsável pela Validação

Silva Gomes (Responsável Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Porto: Rua do Minato, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

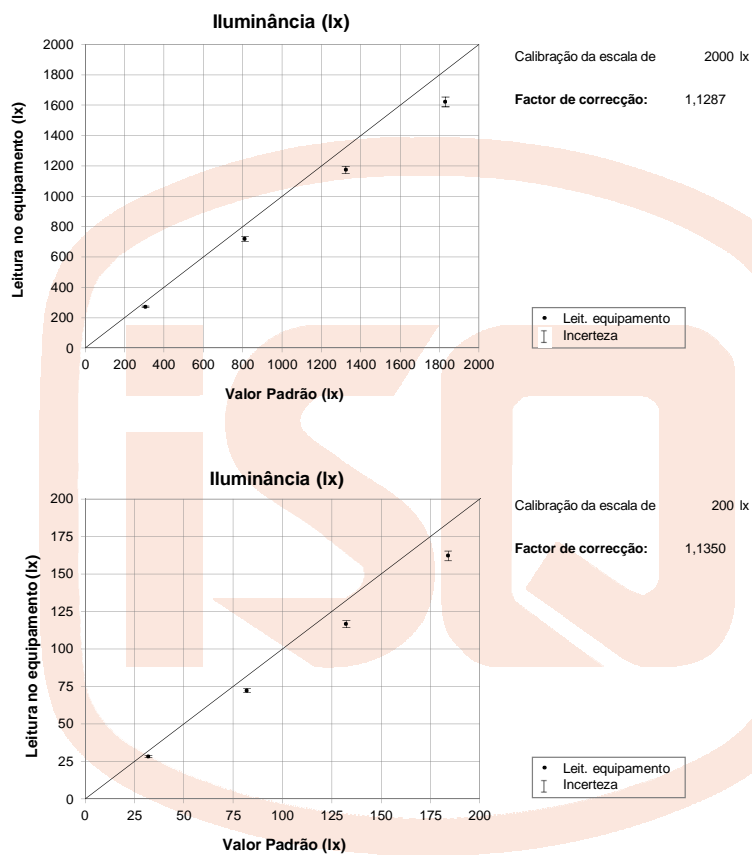
O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MLA and the ILAC MLA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física  
**Certificado de Calibração**

n.º COPT350/16

Página 3 de 3



Calibrado por

David Silva

Responsável pela Validação

Silva Gomes (Responsável Técnico)

DM/064-2/07

instituto de soldadura  
e qualidadeLisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-431 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MLA and ILAC MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

## A.2 Cálculos de Iluminação

[illegible]



## Anexo B

# Analizador de Redes: Certificado de Calibração



  
Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física  
**Certificado de Calibração**



Data	28.07.2016	Certificado nº.	CELE3964/16	Página	1 de 9
Equipamento	<b>ANALISADOR DE ENERGIA</b> Marca: HT ITALIA Modelo: GSC 53N Indicação: Digital				
	Nº ident.: ---		Nº série: 06024393		
Cliente	<b>MANVIA MANUTENÇÃO E EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES E CONSTRUÇÃO SA</b> RUA MÁRIO DIONÍSIO, 2 2799-557 LINDA-A-VELHA				
Data de Calibração	<b>28.07.2016</b>				
Condições Ambientais	Temperatura: 21,1 °C      Humidade relativa: 53,9 %				
Procedimento	PO.M-DM/ELEC: 02 (Ed. I), 03 (Ed. H), 04 (Ed. K), 05 (Ed. J)				
Rastreabilidade	Wavetek 7001, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (Portugal). Fluke 5790A, rastreado à 1A CAL, Kassel (Alemanha, Dakks). DC > 1000V: Elabo 94-8A, rastreado à Elabo GmbH (Alemanha, Dakks). Fluke 5790A e Fluke A40/A40A, rastreado à 1A CAL, Kassel (Alemanha, Dakks). Fluke Y5020, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (Portugal). AC > 1000V: Elabo 94-8A, rastreado à Elabo GmbH (Alemanha, Dakks). Resistências-padrão Tinsley/Guidline, rastreado ao Instituto Português da Qualidade (Portugal). Zera COM3003, rastreado ao Federal Institute of Metrology METAS (Suíça).				
Resultados	Encontram-se apresentados na(s) folha(s) em anexo. A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão k=2, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.  Nota 1 : O equipamento encontra-se dentro da tolerância de referência.  Nota 2 : Especificação de fabricante nos testes realizados.				
Calibrado por	 Sónia Silva		Responsável pela Validação	 Jorge Silva (Técnico)	

DN/064.2/07

**instituto de soldadura e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cascaes Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

[labmetro@isq.pt](mailto:labmetro@isq.pt)

<http://metrologia.isq.pt>

Porto: Rua do Minho, 258 • 4415-481 Oporto • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 18/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA N/A and ILAC N/A for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em

Metrologia Electro-Física

## Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16

Página 2 de 9

Resistência (Low  $\Omega$ )

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
20 $\Omega$	Short	0,00 $\Omega$	---	---	---	---
	0,25 $\Omega$	0,25 $\Omega$	0,00 $\Omega$	$\pm 0,03 \Omega$	$\pm 0,01 \Omega$	33 %
	50 $\Omega$	50,3 $\Omega$	0,3 $\Omega$	$\pm 1,2 \Omega$	$\pm 0,1 \Omega$	33 %

Tensão de ensaio sobre uma resistência de 20M $\Omega$ 

Valor padrão	Valor nominal	Incerteza
53,5 V	50 V	$\pm 0,3 V$
107,3 V	100 V	$\pm 0,3 V$
26,6 V	250 V	$\pm 0,3 V$
525,7 V	500 V	$\pm 0,4 V$
1271,0 V	1000 V	$\pm 0,6 V$

## Isolamento (RISO)

Gama / Função	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
500 V/M $\Omega$	0,22 M $\Omega$	0,22 M $\Omega$	0,00 M $\Omega$	$\pm 0,02 M\Omega$	$\pm 0,01 M\Omega$	50 %
	1,8 M $\Omega$	1,80 M $\Omega$	0,00 M $\Omega$	$\pm 0,06 M\Omega$	$\pm 0,01 M\Omega$	17 %
1000 V/M $\Omega$	5 M $\Omega$	5,01 M $\Omega$	0,01 M $\Omega$	$\pm 0,12 M\Omega$	$\pm 0,09 M\Omega$	83 %
	30 M $\Omega$	30,2 M $\Omega$	0,2 M $\Omega$	$\pm 0,8 M\Omega$	$\pm 0,2 M\Omega$	50 %
	77 M $\Omega$	77,1 M $\Omega$	0,1 M $\Omega$	$\pm 1,7 M\Omega$	$\pm 0,2 M\Omega$	18 %
	1500 M $\Omega$	1491 M $\Omega$	-9 M $\Omega$	$\pm 77 M\Omega$	$\pm 1 M\Omega$	13 %

Calibrado por

Sónia Silva

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva

Jorge Silva (Técnico)

DM/064.2/07

instituto de soldadura  
e qualidadeLisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Deirões • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é signatário to the EA MRA and ILAC MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

## Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16

Página 3 de 9

### RCD

Valor padrão	Valor seleccionado	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
10,50 mA	10 mA	-0,50 mA	± 2,00 mA	± 0,02 mA	26 %
30,17 mA	30 mA	-0,17 mA	± 3,00 mA	± 0,04 mA	7 %
102,0 mA	100 mA	-2,0 mA	± 4,0 mA	± 0,2 mA	55 %

### Resistência (Earth)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
20 Ω	Short	0,10 Ω 0,11 Ω	---	---	---	---
200 Ω	120 Ω	119,9 Ω	-0,1 Ω	6,3 Ω	± 0,1 Ω	3 %
2000 Ω	300 Ω 1800 Ω	299 Ω 1803 Ω	-1 Ω 3 Ω	18 Ω 93 Ω	± 1 Ω ± 1 Ω	11 % 4 %

### Tensão alternada (B1-B4)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
600 V	100 V/50Hz 230 V/50Hz 400 V/50Hz	99,8 V 230,2 V 398,4 V	-0,2 V 0,2 V -1,6 V	± 0,7 V ± 1,4 V ± 2,2 V	± 0,1 V ± 0,2 V ± 0,3 V	43 % 29 % 86 %

Calibrado por

*Sónia Silva*

Sónia Silva

Responsável pela Validação

*Jorge Silva*

Jorge Silva (Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

**labmetro@isq.pt**

**http://metrologia.isq.pt**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é signatário da EA MIA e do ILAC MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

## Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16

Página 4 de 9

### Tensão alternada (B2-B4)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
600 V	100 V/50Hz	99,9 V	-0,1 V	± 0,7 V	± 0,1 V	29 %
	230 V/50Hz	230,2 V	0,2 V	± 1,4 V	± 0,2 V	29 %
	400 V/50Hz	398,7 V	-1,3 V	± 2,2 V	± 0,3 V	73 %

### Tensão alternada (B3-B4)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
600 V	100 V/50Hz	99,9 V	-0,1 V	± 0,7 V	± 0,1 V	29 %
	230 V/50Hz	230,1 V	0,1 V	± 1,4 V	± 0,2 V	21 %
	400 V/50Hz	398,9 V	-1,1 V	± 2,2 V	± 0,3 V	64 %

(I1) Pinça nº série: H05180348285

(I2) Pinça nº série: H05312246385

(I3) Pinça nº série: H05312245085

### Corrente alternada (I1)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. % Tolerância
3000 A	45 A/50Hz	45,0 A	0,0 A	± 0,5 A	± 0,3 A	60 %
	100 A/50Hz	99,4 A	-0,6 A	± 1,0 A	± 0,4 A	100 %
	250 A/50Hz	249,4 A	-0,6 A	± 2,5 A	± 0,9 A	60 %
	400 A/50Hz	398,7 A	-1,3 A	± 4,0 A	± 1,3 A	65 %
	530 A/50Hz	529,2 A	-0,8 A	± 5,3 A	± 1,7 A	47 %

Calibrado por

*Sónia Silva*

Sónia Silva

Responsável pela Validação

*Jorge Silva*

Jorge Silva (Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

[labmetro@isq.pt](mailto:labmetro@isq.pt)

<http://metrologia.isq.pt>

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA-MRA and ILAC-MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.





Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

## Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16

Página 5 de 9

### Corrente alternada (I2)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. % Tolerância
3000 A	45 A/50Hz	45,1 A	0,1 A	± 0,5 A	± 0,3 A	80 %
	100 A/50Hz	99,6 A	-0,4 A	± 1,0 A	± 0,4 A	80 %
	250 A/50Hz	250,0 A	0,0 A	± 2,5 A	± 0,9 A	36 %
	400 A/50Hz	399,8 A	-0,2 A	± 4,0 A	± 1,3 A	37 %
	530 A/50Hz	530,5 A	0,5 A	± 5,4 A	± 1,7 A	41 %

### Corrente alternada (I3)

Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. % Tolerância
3000 A	45 A/50Hz	44,9 A	-0,1 A	± 0,5 A	± 0,3 A	80 %
	100 A/50Hz	99,4 A	-0,6 A	± 1,0 A	± 0,4 A	100 %
	250 A/50Hz	249,2 A	-0,8 A	± 2,5 A	± 0,9 A	68 %
	400 A/50Hz	398,2 A	-1,8 A	± 4,0 A	± 1,3 A	78 %
	530 A/50Hz	528,6 A	-1,4 A	± 5,3 A	± 1,7 A	58 %

### Potência Activa Monofásica - Indutivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. % Tolerância
	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				
230	45	0,5	5,175	230,1	44,8	0,50	5,209	0,034 kW	± 0,193 kW	± 0,028 kW	32 %
	100	0,5	11,50	230,1	99,4	0,50	11,51	0,01 kW	± 0,43 kW	± 0,07 kW	19 %
	250	0,5	28,75	230,1	249,4	0,50	28,96	0,21 kW	± 1,07 kW	± 0,16 kW	34 %
	400	0,5	46,00	230,1	399,9	0,50	46,18	0,18 kW	± 1,71 kW	± 0,25 kW	25 %
	530	0,5	60,95	230,1	530,6	0,50	61,12	0,17 kW	± 2,27 kW	± 0,33 kW	22 %

Calibrado por

*Sónia Silva*

Sónia Silva

Responsável pela Validação

*Jorge Silva*

Jorge Silva (Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

**labmetro@isq.pt**

**http://metrologia.isq.pt**

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é a signatário, to the EA MIA and ILAC MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em

Metrologia Electro-Física

## Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16

Página 6 de 9

## Potência Activa Monofásica - Indutivo (B2B4-I2)

(Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				
230	45	0,5	5,175	230,1	45,2	0,50	5,321	0,146 kW	± 0,197 kW	± 0,028 kW	88 %
	100	0,5	11,50	230,1	99,7	0,50	11,67	0,17 kW	± 0,43 kW	± 0,07 kW	55 %
	250	0,5	28,75	230,1	250,3	0,50	29,18	0,43 kW	± 1,08 kW	± 0,16 kW	55 %
	400	0,5	46,00	230,1	399,2	0,50	46,24	0,24 kW	± 1,71 kW	± 0,25 kW	29 %
	530	0,5	60,95	230,1	529,7	0,50	61,49	0,54 kW	± 2,28 kW	± 0,33 kW	38 %

## Potência Activa Monofásica - Indutivo (B3B4-I3)

(Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				
230	45	0,5	5,175	230,1	45,2	0,50	5,272	0,097 kW	± 0,195 kW	± 0,028 kW	64 %
	100	0,5	11,50	230,1	99,4	0,50	11,56	0,06 kW	± 0,43 kW	± 0,07 kW	30 %
	250	0,5	28,75	230,1	249,1	0,50	28,93	0,18 kW	± 1,07 kW	± 0,16 kW	32 %
	400	0,5	46,00	230,1	396,6	0,50	45,73	-0,27 kW	± 1,70 kW	± 0,25 kW	31 %
	530	0,5	60,95	230,1	526,3	0,50	60,71	-0,24 kW	± 2,25 kW	± 0,33 kW	25 %

## Potência Reactiva - Indutivo (B1B4-I1)

(Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				
230	45	0,5	8,963	230,1	44,8	0,50	8,921	-0,042 kVAr	± 0,048 kVAr	± 0,048 kVAr	27 %
	100	0,5	19,92	230,1	99,4	0,50	19,76	-0,16 kVAr	± 0,11 kVAr	± 0,11 kVAr	37 %
	250	0,5	49,80	230,1	249,4	0,50	49,56	-0,24 kVAr	± 0,27 kVAr	± 0,27 kVAr	28 %
	400	0,5	79,67	230,1	399,9	0,50	79,46	-0,21 kVAr	± 0,43 kVAr	± 0,43 kVAr	22 %
	530	0,5	105,6	230,1	530,6	0,50	105,5	-0,1 kVAr	± 0,6 kVAr	± 0,6 kVAr	18 %

Calibrado por

Sónia Silva

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva

Jorge Silva (Técnico)

DM/064.2/07

instituto de soldadura  
e qualidadeLisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é signatário da EA-MLA e do ILAC MRA para testes, calibração e inspeção. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em

Metrologia Electro-Física

# Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16

Página 7 de 9

## Potência Reactiva - Indutivo (B2B4-I2)

(Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				
230	45	0,5	8,963	230,1	45,2	0,50	8,958	-0,005 kVAr	± 0,332 kVAr	± 0,048 kVAr	16 %
	100	0,5	19,92	230,1	99,7	0,50	19,75	-0,17 kVAr	± 0,73 kVAr	± 0,11 kVAr	38 %
	250	0,5	49,80	230,1	250,3	0,50	49,61	-0,19 kVAr	± 1,84 kVAr	± 0,27 kVAr	25 %
	400	0,5	79,67	230,1	399,2	0,50	79,25	-0,42 kVAr	± 2,94 kVAr	± 0,43 kVAr	29 %
	530	0,5	105,6	230,1	529,7	0,50	105,2	-0,4 kVAr	± 3,9 kVAr	± 0,6 kVAr	26 %

## Potência Reactiva - Indutivo (B3B4-I3)

(Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				
230	45	0,5	8,963	230,1	45,2	0,50	8,977	0,014 kVAr	± 0,333 kVAr	± 0,048 kVAr	19 %
	100	0,5	19,92	230,1	99,4	0,50	19,72	-0,20 kVAr	± 0,73 kVAr	± 0,11 kVAr	42 %
	250	0,5	49,80	230,1	249,1	0,50	49,44	-0,36 kVAr	± 1,83 kVAr	± 0,27 kVAr	34 %
	400	0,5	79,67	230,1	396,6	0,50	78,87	-0,80 kVAr	± 2,92 kVAr	± 0,43 kVAr	42 %
	530	0,5	105,6	230,1	526,3	0,50	104,7	-0,9 kVAr	± 3,9 kVAr	± 0,6 kVAr	39 %

## Potência Activa Monofásica - Capacitivo (B1B4-I1)

(Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				
230	45	0,5	5,2	230,1	45,2	0,50	5,197	0,022 kW	± 0,193 kW	± 0,028 kW	26 %
	100	0,5	11,5	230,1	99,7	0,50	11,36	-0,14 kW	± 0,42 kW	± 0,07 kW	50 %
	250	0,5	28,8	230,1	99,8	0,50	28,51	-0,24 kW	± 1,06 kW	± 0,16 kW	38 %
	400	0,5	46,0	230,1	399,2	0,50	45,08	-0,92 kW	± 1,67 kW	± 0,25 kW	70 %
	530	0,5	61,0	230,1	529,7	0,50	60,02	-0,93 kW	± 2,23 kW	± 0,33 kW	57 %

Calibrado por

*Sónia Silva*

Sónia Silva

Responsável pela Validação

*Jorge Silva*

Jorge Silva (Técnico)

DM/064.2/07

**instituto de soldadura  
e qualidade**

**labmetro@isq.pt**

**http://metrologia.isq.pt**

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é a signatária, to the EA, ILAC and ILAC-MRA for testing, calibration and inspection. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em

Metrologia Electro-Física

## Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16

Página 8 de 9

## Potência Activa Monofásica - Capacitivo (B2B4-I2) (Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				
230	45	0,5	5,2	230,1	45,3	0,50	5,238	0,063 kW	± 0,194 kW	± 0,028 kW	47 %
	100	0,5	11,5	230,1	100,1	0,50	11,49	-0,01 kW	± 0,43 kW	± 0,07 kW	19 %
	250	0,5	28,8	230,1	251,5	0,50	28,81	0,06 kW	± 1,07 kW	± 0,16 kW	21 %
	400	0,5	46,0	230,1	401,9	0,50	45,52	-0,48 kW	± 1,69 kW	± 0,25 kW	43 %
	530	0,5	61,0	230,1	532,7	0,50	60,62	-0,33 kW	± 2,25 kW	± 0,33 kW	29 %

## Potência Activa Monofásica - Capacitivo (B3B4-I3) (Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kW	V	A	cos φ	kW				
230	45	0,5	5,2	230,1	44,7	0,50	5,181	0,006 kW	± 0,192 kW	± 0,028 kW	18 %
	100	0,5	11,5	230,1	98,8	0,50	11,34	-0,16 kW	± 0,42 kW	± 0,07 kW	55 %
	250	0,5	28,8	230,1	248,4	0,50	28,41	-0,34 kW	± 1,05 kW	± 0,16 kW	47 %
	400	0,5	46,0	230,1	396,3	0,50	44,95	-1,05 kW	± 1,67 kW	± 0,25 kW	78 %
	530	0,5	61,0	230,1	526,3	0,50	59,84	-1,11 kW	± 2,22 kW	± 0,33 kW	65 %

## Potência Reactiva - Capacitivo (B1B4-I1) (Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				
230	45	0,5	-8,835	230,1	45,2	0,50	-9,011	-0,176 kVAr	± 0,334 kVAr	± 0,047 kVAr	67 %
	100	0,5	-19,92	230,1	99,7	0,50	-19,91	0,01 kVAr	± 0,74 kVAr	± 0,11 kVAr	16 %
	250	0,5	-49,80	230,1	99,8	0,50	-49,97	-0,17 kVAr	± 1,85 kVAr	± 0,27 kVAr	24 %
	400	0,5	-79,67	230,1	399,2	0,50	-79,93	-0,26 kVAr	± 2,96 kVAr	± 0,43 kVAr	23 %
	530	0,5	-105,6	230,1	529,7	0,50	-105,5	0,1 kVAr	± 3,9 kVAr	± 0,6 kVAr	18 %

Calibrado por

Sónia Silva

Sónia Silva

Responsável pela Validação

Jorge Silva

Jorge Silva (Técnico)

DM/064.2/07

instituto de soldadura  
e qualidadeLisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels.: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels.: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é signatário da EA-MLA e da ILAC-MRA para testes, calibração e inspeção. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorizado por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física

## Continuação de Certificado

nº. CELE3964/16

Página 9 de 9

### Potência Reactiva - Capacitivo (B2B4-I2)

(Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				
230	45	0,5	-8,835	230,1	45,3	0,50	-9,029	-0,189 kVAr	± 0,335 kVAr	± 0,047 kVAr	70 %
	100	0,5	-19,92	230,1	100,1	0,50	-19,99	-0,07 kVAr	± 0,74 kVAr	± 0,11 kVAr	24 %
	250	0,5	-49,80	230,1	251,5	0,50	-50,20	-0,40 kVAr	± 1,86 kVAr	± 0,27 kVAr	36 %
	400	0,5	-79,67	230,1	401,9	0,50	-80,26	-0,59 kVAr	± 2,98 kVAr	± 0,43 kVAr	34 %
	530	0,5	-105,6	230,1	532,7	0,50	-106,6	-1,0 kVAr	± 4,0 kVAr	± 0,6 kVAr	41 %

### Potência Reactiva - Capacitivo (B3B4-I3)

(Corrente alternada @ 50 Hz)

V	Valor padrão			Leitura no equipamento				Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância
	A	cos φ	kVAr	V	A	cos φ	kVAr				
230	45	0,5	-8,841	230,1	44,7	0,50	-8,888	-0,047 kVAr	± 0,329 kVAr	± 0,047 kVAr	29 %
	100	0,5	-19,92	230,1	98,8	0,50	-19,71	0,21 kVAr	± 0,73 kVAr	± 0,11 kVAr	44 %
	250	0,5	-49,80	230,1	248,4	0,50	-49,55	0,25 kVAr	± 1,84 kVAr	± 0,27 kVAr	28 %
	400	0,5	-79,67	230,1	396,3	0,50	-79,20	0,47 kVAr	± 2,94 kVAr	± 0,43 kVAr	31 %
	530	0,5	-105,6	230,1	526,3	0,50	-105,1	0,5 kVAr	± 3,9 kVAr	± 0,6 kVAr	27 %

(!) NOTA: O laboratório não se encontra acreditado nos pontos assinalados.

Na calibração, foram utilizados os acessórios identificados com uma etiqueta de calibração igual à do equipamento.

Calibrado por

*Sónia Silva*

Sónia Silva

Responsável pela Validação

*Jorge Silva*

Jorge Silva (Técnico)

DM/064.2/07

instituto de soldadura  
e qualidade

labmetro@isq.pt

http://metrologia.isq.pt

Lisboa: Av. Prof. Cavaco Silva, 33 • Taguspark • 2740-120 Oeiras • Portugal  
Tels: +351 21 422 90 34/81 86/90 20 • Fax: +351 21 422 81 02

Porto: Rua do Mirante, 258 • 4415-491 Grijó • Portugal  
Tels: +351 22 747 19 10/50 • Fax: +351 22 747 19 19/745 57 78

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC é signatário da EA MIA e do ILAC MRA para testes, calibração e inspeção. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando autorização por escrito do ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.



## Anexo C

# Projeto Fotovoltaico

### C.1 Folha de características do módulo fotovoltaico



**MPRIME G Séries** GENIUS 4BB  
250 / 255 / 260 / 265



**PONTOS FORTES DOS MÓDULOS MPRIME**

-  Excelente desempenho com pouca luz
-  Tolerância potência positiva 0→+5 Watts
-  Adequado para situações de carga mecânica extrema até 5400 Pa
-  100% dos módulos fotovoltaicos testados e inspecionados por sistema de Electroluminiscência (E.L. Tester)
-  Resistente à amónia
-  Muito resistente à corrosão salina

**Certificado por**



**Garantia**



Garantia do produto: 10 anos.  
Garantia de desempenho linear: 25 anos.

**CERTIFICAÇÃO**

- Certificado TÜV
- Certificado MCS
- IEC 61215(ed.2)
- IEC 61730-1(ed.1) & IEC 61730-2(ed.1)
- Corrosão salina (IEC 61701 e Amónia (IEC 62716)



100%  
97%  
95%  
90%  
85%  
80%  
75%

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

Valor acrescentado da MPrime

■ Garantia linear de desempenho MPrime  
■ Garantia standard de desempenho

WWW.MPRIMESOLAR.COM

ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS

Potência Nominal (Wp)	P <sub>NOM</sub>	250	255	260	265
Tolerância Potência Positiva		0~+5W			
Corrente em MPP (A)	I <sub>MPP</sub>	8,32	8,43	8,52	8,59
Tensão MPP (V)	V <sub>MPP</sub> /U <sub>MPP</sub>	30,0	30,2	30,5	30,8
Tensão de Circuito Aberto (V)	V <sub>OC</sub> /U <sub>OC</sub>	37,3	37,6	37,8	38,1
Corrente de Circuito Aberto (A)	I <sub>SC</sub>	8,91	8,99	9,06	9,16
Eficiência do Módulo	η (%)	15,4	15,7	16,0	16,3
Tensão Máxima do Sistema (V)	V <sub>SYST</sub>	IEC:1000 / UL:1000			
Valor Máximo de Fusível de String (A)	I	15			
Temperatura do módulo permitida em serviço contínuo		-40°C até +85°C			
NOCT (°C)		46±2			
Coeficientes de Temperatura:					
Potência	γ(P <sub>ICO</sub> )	-0,43%/°C			
Tensão	β(V <sub>OC</sub> )	-0,33%/°C			
Corrente	α(I <sub>SC</sub> )	+0,06%/°C			

\* Valores em Condições de Teste Padrão STC: massa de ar AM 1,5G, irradiância 1000 W/m² e temperatura da célula (25±2)°C.

ESPECIFICAÇÕES MECÂNICAS

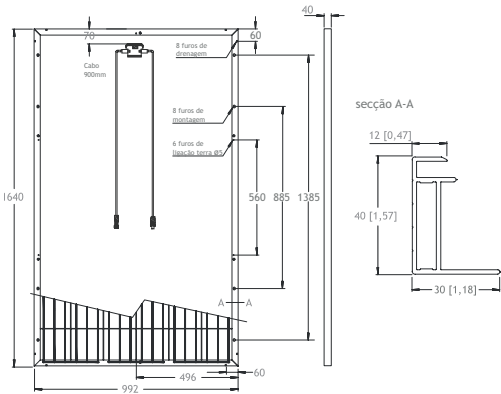
Dimensões	1640 x 992 x 40 mm / 64,57" x 39,06" x 1,57"
Peso	18,5 kg / 40,7 lb
Células Solares	Policristalinas de 6 polegadas (156 x 156 mm)
Conexão Células	60 células (6 x 10)
Vidro	Transparente e temperado com 3,2 mm de espessura (0,13")
Moldura	Liga de alumínio anodizado
Células	3 diodos
Caixa de Junção	IP-65 ou IP-67
Cabo	Comprimento 900mm* diâmetro 4 mm² cada
Conectores	Compatível com MC4

\* Cabo de 1200mm: tempo de entrega pendente de confirmação.

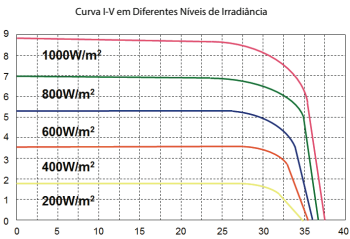
EMBALAGEM

Módulos por palete	26 módulos
Paletes por contentor	28 paletes
Módulos por contentor	728 módulos

DIMENSÕES Todos os valores estão em mm



CURVAS I-V



ATENÇÃO: Leia as instruções de segurança e de instalação antes de utilizar o produto. (disponíveis em WWW.MPRIMESOLAR.COM).

NOTA: As especificações incluídas neste documento estão sujeitas a alterações sem aviso prévio por parte da empresa. Em caso de conflitos/problemas que possam surgir devido a erros de interpretação, as condições que prevalecem são as descritas na versão original (Inglês).

PT065-TCO-GSGEN4B/01/12.15(EN)



## C.2 Folha de características do inversor

### SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL



#### Rentável

- Rendimento máximo de 98,4%

#### Seguro

- Descarregador de sobretensões CC integrável (SPD tipo II)

#### Flexível

- Tensão de entrada CC até 1000 V
- Dimensionamento preciso do sistema graças ao conceito multistring
- Visor opcional

#### Inovador

- Funções de gestão da rede orientadas para o futuro graças ao Integrated Plant Control
- Disponibilização de potência reactiva a qualquer hora (Q on Demand 24/7)

### SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL

O especialista flexível para grandes sistemas comerciais e centrais fotovoltaicas

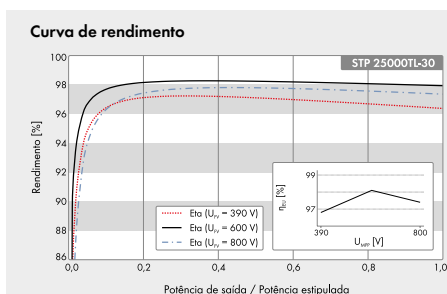
O Sunny Tripower é o inversor ideal para grandes sistemas fotovoltaicos na área comercial e industrial. A sua eficiência de 98,4% permite-lhe não só assegurar rendimentos extraordinariamente elevados, como também oferecer uma elevada flexibilidade de dimensionamento e compatibilidade com muitos módulos fotovoltaicos disponíveis, graças ao seu conceito multistring aliado a um intervalo de tensão de entrada alargado.

A orientação para o futuro traduz-se na integração de novas funções de gestão da rede como, p. ex., o Integrated Plant Control, que permite ao inversor executar sozinho uma regulação da potência reactiva no ponto de ligação à rede. Com isto, deixam de ser necessárias unidades de regulação superiores, reduzindo os custos do sistema. Outra novidade é a disponibilização de potência reactiva a qualquer hora (Q on Demand 24/7).

## SUNNY TRIPOWER

### 15000TL / 20000TL / 25000TL

Dados técnicos	Sunny Tripower 15000TL
<b>Entrada (CC)</b>	
Potência CC máx. ( $\alpha \cos \varphi = 1$ ) / potência atribuída CC	15330 W / 15330 W
Tensão máx. de entrada	1000 V
Intervalo de tensão MPP / tensão atribuída de entrada	240 V a 800 V / 600 V
Tensão mín. de entrada / tensão de entrada inicial	150 V / 188 V
Corrente máx. de entrada Entrada A / Entrada B	33 A / 33 A
Número de entradas MPP independentes / strings por entrada MPP	2 / A:3; B:3
<b>Saída (CA)</b>	
Potência atribuída (a 230 V, 50 Hz)	15000 W
Potência aparente CA máx.	15000 VA
Tensão nominal CA	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V
Intervalo de tensão CA	180 V a 280 V
Frequência de rede CA / intervalo	50 Hz / 44 Hz a 55 Hz 60 Hz / 54 Hz a 65 Hz
Frequência de rede atribuída / tensão de rede atribuída	50 Hz / 230 V
Corrente máx. de saída / corrente atribuída de saída	29 A / 21,7 A
Factor de potência na potência atribuída / Factor de desfasamento ajustável	1 / 0 sobreexcitado a 0 subexcitado
THD	≤ 3%
Fases de injeção / fases de ligação	3 / 3
<b>Rendimento</b>	
Rendimento máx. / europeu	98,4% / 98,0%
<b>Dispositivos de protecção</b>	
Ponto de seccionamento no lado de entrada	●
Monitorização da ligação à terra / monitorização da rede	● / ●
Descarregador de sobretensões CC: SPD tipo II	○
Protecção contra inversão de polaridade CC / Resistência a curtos-circuitos CA / Galvanicamente separado	● / ● / –
Unidade de monitorização de corrente residual sensível a todas as correntes	●
Classe de protecção (conforme a IEC 62109-1) / categoria de sobretensão (conforme a IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II
<b>Dados gerais</b>	
Dimensões (L / A / P)	661 / 682 / 264 mm [26,0 / 26,9 / 10,4 inch]
Peso	61 kg [134,48 lb]
Gama de temperatura de serviço	–25 °C a +60 °C [–13 °F a +140 °F]
Emissões sonoras, típicas	51 dB(A)
Autoconsumo (noite)	1 W
Topologia / princípio de refrigeração	Sem transformador / OptiCool
Grau de protecção (conforme a IEC 60529)	IP65
Classe de condições ambientais (conforme a IEC 60721-3-4)	4K4H
Valor máximo admissível da humidade relativa (sem condensação)	100%
<b>Equipamento / função / acessórios</b>	
Ligação CC / ligação CA	SUNCLIX / terminal de mola
Visor	○
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●
Interface de dados: SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●
Relé multifunções / Power Control Module	○ / ○
OptiTrack Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●
Capacidade off-grid / Compatível com SMA Fuel Save Controller	● / ●
Garantia: 5 / 10 / 15 / 20 anos	● / ○ / ○ / ○
Homologações e certificados previstos	ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-24, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 0972:1, PFC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, 344777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2014
* Não se aplica a todos os anexos nacionais da EN 50438	
Designação do modelo	STP 15000TL-30



## Acessórios



Interface RS485  
DM-485CB-10

Power Control Module  
PWCMOD-10

Descarregador de sobretensões CC tipo II, entrada A e B  
DCSPD KIT3-10



Relé multifunções  
MER01-10

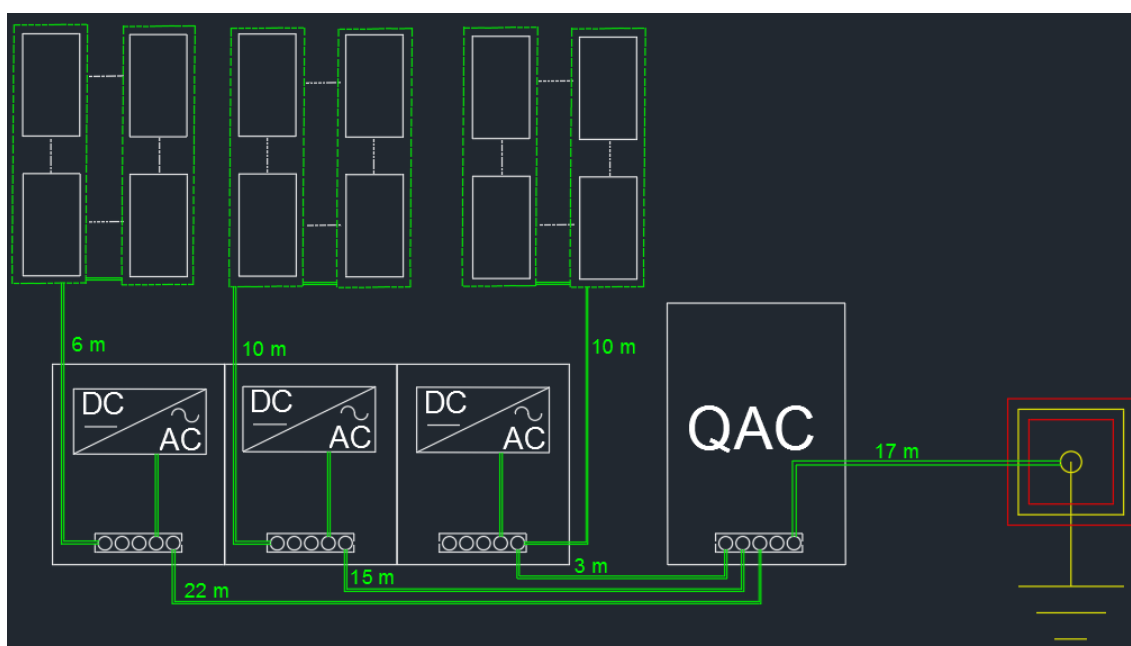
● Equipamento de série    ○ Opcional    – Não disponível  
Dados em condições nominais  
Versão: Maio de 2016

	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
<b>Entrada (CC)</b>		
Potência CC máx. [a cos φ = 1] / potência atribuída CC	20440 W / 20440 W	25550 W / 25550 W
Tensão máx. de entrada	1000 V	1000 V
Intervalo de tensão MPP / tensão atribuída de entrada	320 V a 800 V / 600 V	390 V a 800 V / 600 V
Tensão mín. de entrada / tensão de entrada inicial	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Corrente máx. de entrada Entrada A / Entrada B	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Número de entradas MPP independentes / strings por entrada MPP	2 / A,3, B,3	2 / A,3, B,3
<b>Saída (CA)</b>		
Potência atribuída [a 230 V, 50 Hz]	20000 W	25000 W
Potência aparente CA máx.	20000 VA	25000 VA
Tensão nominal CA	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V	
Intervalo de tensão CA	180 V a 280 V	
Frequência de rede CA / intervalo	50 Hz / 44 Hz a 55 Hz 60 Hz / 54 Hz a 65 Hz	
Frequência de rede atribuída / tensão de rede atribuída	50 Hz / 230 V	
Corrente máx. de saída / corrente atribuída de saída	29 A / 29 A	36,2 A / 36,2 A
Factor de potência na potência atribuída / Factor de desfaseamento ajustável	1 / 0 sobreexcitada a 0 subexcitada	
THD	≤ 3 %	
Fases de injeção / fases de ligação	3 / 3	
<b>Rendimento</b>		
Rendimento máx. / europeu	98,4 % / 98,0 %	98,3 % / 98,1 %
<b>Dispositivos de protecção</b>		
Ponto de seccionamento no lado de entrada	●	
Monitorização da ligação à terra / monitorização da rede	● / ●	
Descarregador de sobretensões CC: SPD tipo II	○	
Protecção contra inversão de polaridade CC / Resistência a curtos-circuitos CA / Galvanicamente separado	● / ● / –	
Unidade de monitorização de corrente residual sensível a todas as correntes	●	
Classe de protecção (conforme a IEC 62109-1) / categoria de sobretensão (conforme a IEC 62109-1)	I / AC; III; DC; II	
<b>Dados gerais</b>		
Dimensões [L / A / P]	661 / 682 / 264 mm [26,0 / 26,9 / 10,4 in]	
Peso	61 kg [134,48 lb]	
Gama de temperatura de serviço	–25°C a +60°C (–13°F a +140°F)	
Emissões sonoras, típicas	51 dB(A)	
Autoconsumo (notite)	1 W	
Topologia / princípio de refrigeração	Sem transformador / OptiCool	
Grau de protecção (conforme a IEC 60529)	IP65	
Classe de condições ambientais (conforme a IEC 60721-3-4)	4K4H	
Valor máximo admissível da humidade relativa (sem condensação)	100 %	
<b>Equipamento / função / acessórios</b>		
Ligação CC / ligação CA	SUNCLIX / terminal de mola	
Visor	○	
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●	
Interface de dados: SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●	
Relé multifunções / Power Control Module	○ / ○	
OptiTrack Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●	
Capacidade off-grid / Compatível com SMA Fuel Save Controller	● / ●	
Garantia: 5 / 10 / 15 / 20 anos	● / ○ / ○ / ○	
Homologações e certificados (mais a pedido)	ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60682-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2013, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 0972-1, PEA 2013, PFC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n.º 201/SI4777, TCR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014	
* Não se aplica a todos os anexos nacionais da EN 50438		
<b>Designação do modelo</b>	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30

### C.3 Disposição do Sistema



#### C.3.1 Equipotencialização das massas



## C.4 Orçamento

Orçamento						
MÓDULOS						53 502,22 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
MPrime G Series Genius 4BB 260		264	160,00 €	un.	42 240,00 €	
Estrutura triangular 12 paineis		14	511,92 €	un.	7 166,88 €	
Estrutura triangular 7 paineis		12	298,62 €	un.	3 583,44 €	
Estrutura triangular 6 paineis		2	255,95 €	un.	511,90 €	
Quadros e aparelhagem DC						4 856,83 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Amário Universal IP65 UV a.1150 l.850 p.300	FL73SP	3	821,29 €	un.	2 463,87 €	
Fecho alavanca chave 1333	FZ533	3	66,09 €	un.	198,27 €	
Porta Esquemas A4 extensível p/colar	FZ757A4	3	11,18 €	un.	33,54 €	
Etiquetas p/identif. De circuito 10M	JE001	2	2,69 €	un.	5,38 €	
Etiqueta p7identif. De circuitos 24M	JE003	2	5,26 €	un.	10,52 €	
Másc. Branca RAL 9010 em banda 24M	JP002	2	2,96 €	un.	5,92 €	
Másc. Branca RAL 9010 em banda 10 M	JP003	2	2,79 €	un.	5,58 €	
Fusível fotovoltaico 10x38 1000 VDC 15 A	LF315PV	26	6,13 €	un.	159,38 €	
Corta-circuitos p. Fusíveis 1P	LS01PV	26	5,06 €	un.	131,56 €	
Interruptor 4P 32A 1000 VDC	SB432PV	8	193,22 €	un.	1 545,76 €	
Unid. p/mod 1x24M a.225 l.500	UD12B4A	2	59,08 €	un.	118,16 €	
Unid. p/mod 2x10M c/calha a.300 l.250	UD21B6	1	58,20 €	un.	58,20 €	
Jogo 2 montantes univ. a.1050	UN07A	3	40,23 €	un.	120,69 €	
DC						650,00 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Cabo DC 4 mm2		10	65,00 €	100 m	650,00 €	
INVERSORES						13 634,25 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
STP 15000TL-10 ( com DST)		1	4 243,31 €	un.	4 243,31 €	
STP 25000TL-30 (com DST)		2	4 695,47 €	un.	9 390,94 €	
AC						4 396,33 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Cabo XV 1X16 CABELTE		0,09	2 154,00 €	km	183,09 €	
Cabo XV 4G16 CABELTE		0,05	8 961,80 €	km	448,09 €	
Cabo XV 3X95 + 50 CABELTE		0,095	39 633,20 €	km	3 765,15 €	
Quadro e aparelhagem AC						2 441,33 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Armário Universal IP65 UV a.850 l.600 p.300	FL52SP	1,00	646,56 €	un.	646,56 €	
Interruptor Tetrapolar 4P 125 A	HA451	1,00	104,28 €	un.	104,28 €	
Interruptor diferencial 4P 40A 30mA	CDC440A	3,00	117,99 €	un.	353,97 €	
Disjuntor 4P 40A C 50kA 6M	HMX440	3,00	293,64 €	un.	880,92 €	
Másc. Branca RAL 9010 em banda 10M	JP003	2,00	2,79 €	un.	5,58 €	
Pente ligação tetrapolar (pont.) 12z	KB463A	1,00	22,07 €	un.	22,07 €	
Unid. p/mod. 1x24M a.225 l.500	UD12B4A	2,00	59,08 €	un.	118,16 €	
Unid. Barram. Horiz. 250A a.300 l.500	UE22D2	1,00	279,40 €	un.	279,40 €	
Jogo 2 montantes univ. a.750	UN05A	1,00	30,39 €	un.	30,39 €	
TOTAL de material						79 480,96 €
Margem sobre materiais						11 922,14 €
Mão de Obra						4 800,00 €
Nome	Ref.	Quantidade	Preço Un.	Unidade	Total	
Mão de Obra		240	20,00 €	Horas	4 800,00 €	
Total						96 203,11 €



# Anexo D

# Tarifas

## D.1 Cálculos das tarifas

		EDP									Fenosa			Iberdrola			Endesa		
		Longas utilizações			Médias utilizações			Curtas utilizações											
Periodo	Energia Ativa	Preço Un.	Quantidade	Total	Preço Un.	Quantidade	Total	Preço Un.	Quantidade	Total	Preço Un.	Quantidade	Total	Preço Un.	Quantidade	Total	Preço Un.	Quantidade	Total
I e IV	Ponta	0,1368 €	30232	4 135,74 €	0,1429 €	30232	4 320,15 €	0,2139 €	30232	6 466,62 €	0,101752 €	60259	6 131,474 €	0,09990 €	60259	6 019,87 €	0,1044 €	60259	6 291,04 €
	Cheias	0,1074 €	74103	7 958,66 €	0,1108 €	74103	8 210,61 €	0,1192 €	74103	8 833,08 €	0,09995 €	173335	16 284,823 €	0,09300 €	173335	16 120,16 €	0,0926 €	173335	16 050,82 €
	Vazio Normal	0,0757 €	24556	1 858,89 €	0,0770 €	24556	1 890,81 €	0,0810 €	24556	1 989,04 €	0,07035 €	59732	4 202,146 €	0,06960 €	59732	4 157,35 €	0,0684 €	59732	4 085,67 €
	Super Vazio	0,0646 €	12459	804,85 €	0,0657 €	12459	816,56 €	0,0721 €	12459	898,29 €	0,06330 €	30340	1 981,202 €	0,06380 €	30340	1 935,69 €	0,0626 €	30340	1 899,28 €
II e III	Ponta	0,1397 €	30027	4 194,77 €	0,1407 €	30027	4 465,01 €	0,2135 €	30027	6 410,76 €									
	Cheias	0,1096 €	99232	10 875,83 €	0,1108 €	99232	10 994,91 €	0,1191 €	99232	11 818,53 €									
	Vazio Normal	0,0784 €	35176	2 757,80 €	0,0808 €	35176	2 842,22 €	0,0815 €	35176	2 866,94 €									
	Super Vazio	0,0720 €	17881	1 287,43 €	0,0720 €	17881	1 287,43 €	0,0758 €	17881	1 355,38 €									
Energia Reativa																			
	Indutiva	0,0277 €	354,107	9,8088 €	0,0277 €	354,107	9,8088 €	0,0277 €	354,107	9,8088 €	0,0277 €	354,107	9,8088 €	0,0277 €	354,107	9,8088 €	0,0277 €	354,107	9,8088 €
	Capacitiva	0,0208 €	21	0,4368 €	0,0208 €	21	0,4368 €	0,0208 €	21	0,4368 €	0,0208 €	21	0,4368 €	0,0208 €	21	0,4368 €	0,0208 €	21	0,4368 €
Encargos de potência		[KWh.mês]			[KWh.mês]			[KWh.mês]			[KWh.dia]			[KWh.mês]			[KWh.mês]		
Horas de ponta		10,1570 €	768,4551	7 805,1985 €	10,2360 €	768,4551	7 865,9064 €	15,03 €	768,4551	11 549,8802 €	0,226915 €	768,4551	5 335,84 €	8,8350 €	768,4551	6 789,30 €	6,7890 €	768,4551	5 217,04 €
Contratada		1,5520 €	206	3 197,1200 €	1,4610 €	206	3 009,6600 €	0,6240 €	206	1 285,44 €	0,032121 €	206	2 024,78 €	1,0440 €	206	2 150,64 €	0,9600 €	206	1 977,60 €
Total				44 886,53 €			45 715,52 €			53 484,12 €	Total		35 970,51 €	Total		37 183,25 €	Total		35 551,70 €





# Referências

- [1] International Energy Agency. Energy Statistics. *Statistics*, 2016. URL: <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>.
- [2] Fatih Birol. Energy Efficiency: Market Report 2015. *International Energy Agency*, (december), 2015. doi:10.1016/S1471-0846(04)00194-5.
- [3] Ministério da Educação. Decreto-Lei n.º41/2007. 2007.
- [4] Xvii Governo Constitucional. Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2007. páginas 2006–2008, 2007.
- [5] Joel Darmstadter. Energy and Population. (September):1–9, 2004.
- [6] Jim Diefenderfer, Macroeconomic assumptions Vipin Arora, e Laura E Singer. *International Energy Outlook 2016 Liquid fuels*, volume 0484. 2040. arXiv:EIA-0484(2013), doi:DOE/EIA-0484(2014).
- [7] Parlamento Europeu E Do Conselho. Diretiva 2012/27/UE. *Jornal Oficial da União Europeia*, páginas 1–56, 2012.
- [8] International Energy Agency. Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency. *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*, página 232, 2014. doi:<http://dx.doi.org/10.1787/9789264220720-en>.
- [9] Lea Gynther, Bruno Lappillone, e Karine Pollier. Energy efficiency trends and policies in the household and tertiary sectors. An analysis based on the ODYSSEE and MURE databases. (June):97, 2015. URL: <http://www.odyssee-mure.eu/publications/br/energy-efficiency-trends-policies-buildings.pdf>.
- [10] Ernesto Manuel Dias. Ruído; Vibrações; Iluminação nos Locais de Trabalho. 2007.
- [11] Parque Escolar. MP : IT - Manual de Projecto: Instalações Técnicas. 2009.
- [12] Prof2000. Tipos e características de lâmpadas: Sistemas de iluminação.
- [13] ETAP.SCHREDER. DOSSIER LED. 2011.
- [14] José Manuel Fialho. Manutenção de Uma Instalação de AVAC das Áreas Limpas de Uma Indústria Farmacêutica Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.
- [15] José Rodrigo Pereira e José António Beleza Carvalho. Poluição Harmónica em Instalações Elétricas Industriais. *Neutro À Terra*, páginas 1–18, 2014.

- [16] Paulo Jorge de Figueiredo Correia. O impacto dos Problemas de Qualidade da Energia em Instalações Elétricas: O Caso Particular das Perturbações Harmónicas. 2007.
- [17] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Despacho n.º 7253/2010. páginas 21945–21949, 2010.
- [18] João Luiz Afonso e Júlio S. Martins. Qualidade da energia eléctrica. páginas 66–71, 2004.
- [19] Manuel Vaz Guedes. Poluição harmónica. páginas 1–4, 1994.
- [20] Ordem Engenheiros. O impacto dos problemas de qualidade da energia em instalações eléctricas . O caso particular das cavas , conteúdos harmónicos e sobretensões. páginas 1–18, 2001.
- [21] International Energy Agency. *Solar Energy Perspectives*.
- [22] Sistemas Solares Térmicos, 2016.
- [23] Sistemas Solares Fotovoltaicos, 2016.
- [24] Ordenamento do Território e Energia Ministério do Ambiente. DL 153/2014. páginas 5298–5311, 2014.
- [25] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Tarifas e preços para a energia eléctrica e outros serviços em 2016. 2016.
- [26] Laureano Homem. Portaria 15/2015. páginas 1–2, 2015.
- [27] Filipe Pinto. Regime Jurídico das Unidades de Produção ( UP ) Distribuída. 2015.
- [28] Guide to DIN EN 12464-1. *Lighting of work places-Part 1*, páginas 1–44, 2015.  
URL: <http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen{ }Downloads/Guide{ }DIN-EN-12464-1.pdf>.
- [29] S.A. Mprime Solar Solutions. MPRIME G Séries 250 / 255 / 260 / 265.
- [30] SMA. Sunny Tripower.